



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LOS PLANES DE
MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE
GENERACION ELECTRICA DE LA CENTRAL DE
PRODUCCION Y FACILIDADES (CPF), UTILIZANDO (RCM),
EN EL BLOQUE 15 DE PETROAMAZONAS**

**Proyecto de Investigación, presentada ante el Instituto de Postgrado y Educación
Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de
Magíster en GESTION DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTOR: IVAN LEONARDO BENITEZ SANTILLAN
TUTOR: ING. LUIS FELIPE SEXTO CABRERA**

RIOBAMBA-ECUADOR

2015



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado “**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE LA CENTRAL DE PRODUCCIÓN Y FACILIDADES (CPF), UTILIZANDO (RCM), EN EL BLOQUE 15 DE PETROAMAZONAS**”, presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial”, de responsabilidad del Ing. Iván Leonardo Benítez Santillán ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

<hr/> Dr. Juan Vargas PRESIDENTE	<hr/> FIRMA
<hr/> Ing. Luis Felipe Sexto MSc. DIRECTOR	<hr/> FIRMA
<hr/> Ing. Jorge Freire Miranda MSc. MIEMBRO	<hr/> FIRMA
<hr/> Ing. Cesar Astudillo Machuca MSc. MIEMBRO	<hr/> FIRMA
<hr/> COORDINADOR SISBIB ESPOCH	<hr/> FIRMA

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Iván Leonardo Benítez Santillán, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en la presente Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

FIRMA
C.I. 060213248-2

DEDICATORIA

Dedico de corazón a Dios, a mi familia, ejes fundamentales para los logros alcanzados a lo largo de mi vida personal y profesional, al ejemplo de virtudes heredada de mis padres a quienes venero hoy y siempre.

El legado a mis hermanos a quienes admiro y respeto, pero sobre todo el amor que como parte importante de mis convicciones entrego, ya que en ellos he tenido el reflejo de virtudes a alcanzar.

AGRADECIMIENTO

A mi Director, Asesores del presente tema de investigación por las guías fundamentales, así como por la paciencia y conocimientos compartidos. Los cuales han guiado y llevado a feliz término la investigación realizada.

De igual manera a todos los profesionales de la Empresa, quienes hacen un esfuerzo por cumplir con los estándares de calidad y mejora de procesos alcanzados, los que sumaron de una manera decisiva con el aporte fruto de una preparación de alto nivel.

Gracias por Siempre.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página.
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
TABLA DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xii
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Problema de investigación.....	2
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Formulación del problema.....	3
1.4	Sistematización del problema.....	4
1.5	Justificación de la investigación.....	4
1.6	Objetivo general.....	6
1.7	Objetivos específicos.....	6
1.8	Hipótesis.....	6

CAPÍTULO II

2	MARCO REFERENCIAL.....	7
2.1	RCM.....	7
2.2	Jerarquizacion de subsistemas y equipos.....	8
2.3	Guías y protocolos.....	9
2.3.1	Mapas causales.....	10

2.4	Selección del sistema.....	10
2.5	Descripción del sistema.....	10
2.6	Identificación de fallas de las funciones del sistema y fallas funcionales.....	11
2.7	Análisis de modos de falla y efectos (FMEA).....	14
2.8	Modos de falla y análisis de efectos (FMECA).....	14
2.9	Selección de tareas.....	14
2.10	Implementación del programa.....	23

CAPÍTULO III

3.	Diseño de investigación MÉTODOS Y MATERIALES.....	26
3.1	Sistemas de Generación en CPF.....	26
3.1.1	Generación Caterpillar.....	29
3.1.2	Generación Waukesha.....	31
3.1.3	Generación Jenbacher.....	32
3.1.4	Generación Wartsila.....	33
3.2	Gestión de mejora continua.....	34
3.2.1	Indicadores de Mantenimiento actuales.....	34
3.2.2	Datos correctivos. (Maximo).....	36
3.3	RCM.....	38
3.3.1	Jerarquización de subsistemas.....	39
3.3.2	Matriz de Jerarquización.....	40
3.3.2.1	Probabilidad.....	40
3.3.2.2	Ocurrencia.....	41
3.3.2.3	Exposición.....	41
3.3.2.4	Consecuencias.....	42
3.3.2.5	Grupo de implementación.....	43
3.3.2.6	Características del Grupo de implementación.....	44
3.3.2.7	Índice de Criticidad.....	46
3.3.3	Determinación de elementos críticos.....	50
3.3.3.1	DETERMINACION DE EQUIPOS CRITICOS: MOTORES GAS&DIESEL CONSECUENCIAS.....	55
3.3.3.2	DETERMINACION DE EQUIPOS CRITICOS: PLANTA WARTSILA CONSECUENCIAS.....	57

3.3.3.3	EQUIPOS CRITICOS EN GENERACIONES GAS & DIESEL.....	60
3.3.3.4	EQUIPOS CRITICOS EN GENERACIÓN WARTSILA.....	63
3.3.3.5	Confiabilidad del sistema de sistema de Generación Wartsila.....	66
3.3.4	Guías y Protocolos.....	69
3.3.4.1	Mapas Causales. (Planes de acción).....	69
3.3.4.2	Guías y protocolos de respuesta en casos de emergencias para los activos analizados.....	71
3.3.5	Selección del sistema.....	76
3.3.6	Modos de falla y análisis de efectos (FMECA).....	77
3.3.6.1	Resultados de la Aplicación de FMECA en sistemas de generación....	78
3.3.6.2	Resultados de la Aplicación de FMECA en sistemas críticos.....	80

CAPÍTULO IV

4.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	82
4.2	Resultados de la Aplicación de RCM en sistemas críticos.....	82
4.3	Selección de tareas.....	84
	CONCLUSIONES.....	92
	RECOMENDACIONES.....	94

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1-2 Valoración cualitativa de criticidad.....	9
Tabla 2-2 <i>Tareas motores Caterpillar</i>	16
Tabla 3-2 Tareas motores Waukesha.....	17
Tabla 4-2 Tareas motores Jenbacher.....	19
Tabla 5-2 Tareas motores Wartsila.....	21
Tabla 1-3 Capacidad de los sistemas.....	25
Tabla 2-3 Fallos en Sistemas de Generación CPF.....	35
Tabla 3-3 Ponderación de Ocurrencia según MTBF.....	40
Tabla 4-3 Ponderación de exposición.....	40
Tabla 5-3 Ponderación de consecuencias.....	41
Tabla 6-3 Grupo de implementación.....	42
Tabla 7-3 Clasificación de activos.....	45
Tabla 8-3 Matriz de Probabilidad por Consecuencia.....	47
Tabla 9-3 Determinación de activos críticos: Probabilidad: Ocurrencia y Exposición.....	50
Tabla 10-3 Determinación de activos críticos Planta Wartsila – Probabilidad: Ocurrencia y Exposición.....	52
Tabla 11-3 Determinación de activos críticos: Consecuencias.....	54
Tabla 12-3 Determinación de activos críticos Planta Wartsila: Consecuencias.....	57
Tabla 13-3 Equipos críticos en generaciones a gas y diesel.....	60
Tabla 14-3 Equipos críticos en generación Wartsila.....	61
Tabla 15-3. Equipos de Planta Wartsila.....	62
Tabla 16-3. Cálculo de confiabilidad a las 2000 horas.....	66
Tabla 17-3 Capacidad de los sistemas.....	74
Tabla 18-3. Modos de falla y análisis de efectos (FMECA.....	77
Tabla 19-3 Aplicación de FMECA en sistemas críticos.....	79
Tabla 1-4. Hoja de trabajo RCM de equipo crítico.....	81
Tabla 2-4. Diagrama de decisión de RCM de equipo crítico	84
Tabla 3-4. Aplicación de RCM en sistemas críticos.....	85
Tabla 4-4. Aplicación de RCM en sistemas críticos (Evaluación de tareas preventivas).....	86

Tabla 5-4.	Aplicación de RCM en sistemas críticos (Evaluación de tareas de inspección).....	87
Tabla 6-4.	Aplicación de RCM en sistemas críticos (Evaluación de tareas correctivas).....	88
Tabla 7-4	Demostración de la Hipótesis.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-2 Diagrama de decisión.....	13
Figura 2-2 Generaciones por tipos de motores.....	24
Figura 1-3 Generación motores Caterpillar.....	28
Figura 2-3 Generación motores Waukesha.....	30
Figura 3-3 Generación motores Jenbacher.....	31
Figura 4-3 Generación motores Wartsila.....	32
Figura 5-3 Cantidad de fallos de las cuatro generaciones.....	37
Figura 6-3 Calculo de Confiabilidad.....	66
Figura 7-3 Mapa causal.....	67
Figura 8-3 Mapa causal.....	68
Figura 9-3 Mapa causal (Desarrollo 2).....	69
Figura 10-3 Guía de reacción generación Caterpillar.....	70
Figura 11-3 Guía de reacción generación Waukesha.....	71
Figura 12-3 Guía de reacción generación Jenbacher.....	72
Figura 13-3 Guía de reacción generación Wartsila.....	73
Figura 14-3. Descripción del sistema.....	75

LISTA DE ABREVIACIONES

SEIP	Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero.....
CCO	Centro de Control y Optimización.....
CPF	Central production and facilities.....
SOTE	Sistema de Oleoducto Trans Ecuatoriano.....
RCM	Reliability Centered Maintenance.....
ACR	Análisis Causa Raíz.....
MTBF	Tiempo medio entre fallas
MTTR	Tiempo medio para la reparación.....

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	ESPECIFICACIONES DE MOTOR CATERPILLAR
Anexo B	ESPECIFICACIONES DE MOTOR JENBACHER
Anexo C	ESPECIFICACIONES DE MOTOR WAUKESHA
Anexo D	ESPECIFICACIONES DE MOTOR WARTSILA
Anexo E	LEVANTAMIENTO DE FACILIDADES DEL CPF
Anexo F	FORMATO E: CREACION DE GRUPO DE IMPLMETACION
Anexo G	PLANES DE MANTENIMIENTO: GENERACIÓN CATERPILLAR
Anexo H	PLANES DE MANTENIMIENTO: GENERACIÓN WAUKESHA
Anexo I	PLANES DE MANTENIMIENTO: GENERACIÓN JENBACHER
Anexo J	PLANES DE MANTENIMIENTO: GENERACIÓN WARTSILA
Anexo K	Distribución de energía en CPF Bloque 15.....

RESUMEN

El campo de producción petrolera del complejo Indillana, bloque 15 de Petroamazonas, implementó planes de mantenimiento de los equipos críticos de generación eléctrica de la central de producción y facilidades (CPF), con la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). El RCM analiza la función cada elemento, para determinar si este se encuentra bajo condiciones iniciales, o si ha perdido su desempeño, mediante esto se desea establecer los modos de falla o causa de daño y determinar su efecto, para obtener u optimizar los planes de mantenimiento en elementos críticos de un activo. Se analizan los 4 sistemas de generación. Los activos críticos obtenidos han presentado distintos fallos en su tiempo de operación. Pese a que la ocurrencia en la mayoría de los equipos ha sido considerada como “Remota”, es importante conocer el punto de partida en términos de los indicadores de mantenimiento. La redundancia de elementos dentro del Sistema de Generación es evidentemente la causa principal de que las calificaciones que se obtienen en las consecuencias de análisis son indicadores que el Sistema es o responde a una buena Confiabilidad. En base al presente trabajo por generación se determinan las tareas adicionales que serán tomadas en cuenta en los futuros mantenimientos de estas unidades consideradas como críticas en las operaciones de PAM en el CPF. Las guías y protocolos desarrollados permitirán que no existan confusiones en eventos de emergencia antes las eventuales paradas no programadas en los 4 escenarios posibles. Se recomienda la utilización de esta técnica en todos los equipos que intervienen en la operación y obtención de crudo.

PALABRAS CLAVE:

<RCM MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD>, <SISTEMAS DE GENERACION>, <MOTORES DE COMBUSTION INTERNA>, <SUCUMBOS [PROVINCIA]>, <PETROAMAZONAS EP>, <CPF CENTRAL DE PRODUCCION Y FACILIDADES>

ABSTRACT

Oil production in Indillana block 15 in Petroamazonas, implemented critical equipment maintenance plans to generate electrical in the production and facilities plant (CPF), by applying the reliability centered maintenance methodology (RCM). The RCM analyzes the function of each element to determine if it is under initial conditions of, or if has lost performance; the purpose is to establish the failure modes or damage cause and determine the effect, in order to obtain or optimize the maintenance plans in critical elements of an asset. The four power generation systems were analyzed. The obtained critical assets have presented different flaws in the operating time. Even though the frequency in the majority of the equipment has been classified as "Remote", it is important to know the starting point in terms of maintenance indicators. The redundancy of elements within the Power Generation System is evident, the main cause for the obtained qualifications according to the consequences analysis are indicators which show that the system has a good reliability. Based on the results, additional tasks are determinate to be taken into account for future maintenance of these units considered as critical in the PAM and CPF operations. The developed guides and protocols contributes to the inexistence of confusion in emergency situations facing with sudden non-planned stops in four different scenarios. It is recommended to use this technique in all the operation equipment used to obtain oil.

KEY WORDS:

<RCM REABILITY CENTERED MANTENAINCE>, <GENERATION SYSTEMS>, <INTERNAL COMBUSTION ENGINES>, <SUCUMBIOS [STATE]>, <PETROAMAZONAS EP>, <CPF CENTRAL PRODUCTION AND FACILITIES>

INTRODUCCION

Esta investigación inicia en el campo petrolero Bloque 15 de Petroamazonas EP, en el Ecuador. El bloque referido se encuentra ubicado en la provincia de Sucumbíos cantón Shushufindi, parroquia Limoncocha. Es uno de los campos más importantes de producción petrolera en nuestro país, y está conformado por varios departamentos técnicos, uno de ellos, el departamento mecánico tiene la responsabilidad de optimizar los recursos de equipamiento, dotándoles de sistemas confiables y adecuados, para máximo rendimiento.

Entre los sistemas de energía eléctrica que operan en la producción de petróleo en esta área, se encuentran los motores de combustión interna, los mismos que entregan la energía necesaria para el normal funcionamiento de la planta de producción. Dichos equipos tienen diversa procedencia y poseen marcas diversas. Podemos citar entonces las cuatro principales que son: Caterpillar, Waukesha, Jenbacher, y Wartsila, en estas generaciones de motores, debemos recalcar que es importante se apliquen la jerarquización de activos críticos, siendo esta primera actividad para la aplicación de técnicas de mantenimiento programado.

La disminución de pérdidas tanto en energía como en producción, representan un impacto económico significativo para la empresa y por tanto para el país. Es justamente por este motivo, que el equipo técnico responsable de solucionar este tipo de problemas, liderado por el autor de esta investigación, ha realizado un proceso aplicativo de la teoría de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, la implementación de esta metodología ha implicado un estudio basado en datos históricos necesarios para determinar cambios y refuerzos en el campo experimentado.

Se realizó un diagnóstico inicial para cuantificar y cualificar el estado real de la planta de producción, en lo referente a la generación eléctrica, para luego formalizar una planificación y posteriormente aplicar una serie de toma de decisiones técnicas, todas ellas documentadas y sistematizadas en las matrices necesarias para la aplicación del método RCM.

Las áreas involucradas en el sostenimiento técnico: eléctrica, instrumentación, automatización y mecánica, se organizaron y aplicaron una reingeniería de mantenimiento, logrando disminuir sistemáticamente los posibles fallos y aumentando la confiabilidad, al mismo tiempo que se han logrado ahorros económicos sustanciales en la producción. Todos estos aspectos se desarrollan en este documento, evidenciando el trabajo desarrollado por el equipo multidisciplinario de la empresa y su compromiso con el pueblo ecuatoriano.

CAPITULO I

1.1. Problema de investigación

El campo de producción petrolera del complejo Indillana, bloque 15 de Petroamazonas, como parte de su desarrollo, necesita la implementación suficiente de planes de mantenimiento de los equipos críticos de generación eléctrica de la central de producción y facilidades (CPF). Para lo cual está utilizando la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

1.2. Planteamiento del problema

La garantía del suministro de energía en el CPF, es indispensable para el normal funcionamiento de la planta y de las islas de producción, tomando en cuenta que al momento existen cuatro plantas generadoras de energía:

Como base principal del sistema de generación se va contar con la Wartsila (generación con crudo) considerando que es la más robusta y aporta al SEIP 11 MW al momento, es decir 5,5 MW cada unidad, este valor será muy importante a lo largo de la presente investigación.

En segundo plano estará la generación Jenbacher (generación a gas) que actualmente se constituye en el respaldo fundamental de la generación a crudo y que su correcto funcionamiento que estará condicionado con la mejora de las rutinas de mantenimiento de dichos motores. Esta generación actualmente se encuentra aportando 6,4 MW al sistema con 8 motores cada uno de 800 kW.

Luego se encuentra la generación Waukesha (generación a gas), también considerada de soporte y actualmente con 3 unidades que aportan 700 kW cada una entrega un total de 2,1 MW al sistema.

La generación Caterpillar consta de 5 unidades, de las cuales solo está aportando una con 500 kW, esto debido al alto costo del diésel, a pesar de ser una generación muy confiable se

encuentra en reserva fría, a ser considerada para producción siempre y cuando sea rentable a la organización.

Ahora bien, descrito los distintos escenarios el tema de estudio cobra una importancia bastante alta ya que la sostenibilidad de las altas cargas de energía que manejamos deben siempre abastecer al SEIP a través del CCO que es el centro que se encarga del control y optimización de la misma en el sistema interconectado petrolero.

El manejo de las cargas del sistema Wartsila se ve soportado por la generación a gas, y esta, por la generación a diésel; bajo este esquema es menester reforzar de todas las maneras posibles, que los sistemas no entren en fallos funcionales y que es el pilar fundamental de la aplicación del RCM en la presente investigación: ya que el apagar una unidad que aporta 5,5 MW, significa que se tiene que suplir esa cantidad de energía con 5,5 MW de generación a gas, existiendo las debidas coordinaciones que podemos tenerlas si no son por fallos funcionales existentes en los sistemas.

De esta manera, al mantener los sistemas confiables, se pueden de manera ordenada y sistemática tener la disponibilidad de las unidades incluso para las rutinas de mantenimiento que deben realizarse dentro de las recomendaciones de los fabricantes, sin dejar de suplir la energía necesaria para los procesos de producción de crudo, la misma que se ve reflejada en pérdidas de producción, y que por ende son disminuciones de ingresos para el pueblo ecuatoriano.

1.3. Formulación del problema

¿Existen insuficientes rutinas de mantenimiento en la maquinaria de generación que necesita ser revisadas y modificadas para optimizar y garantizar el suministro de energía para utilizarlos en la obtención de crudo?

1.4. Sistematización del problema

- ¿Existe ausencia de datos actualizados para realizar el estudio del diseño y comportamiento de los sistemas del CPF, en el contexto operacional actual?
- ¿Se debe determinar la criticidad de los subsistemas objeto de estudio que componen el sistema de generación eléctrica?
- ¿Se aplica suficientemente la metodología del RCM en los subsistemas analizados de mayor criticidad, de conformidad con la norma SAE JA 1011?
- ¿Existe ausencia de guías y protocolos de respuesta en casos de emergencias para los activos analizados?

1.4. Justificación de la investigación

En el bloque 15 de Petroamazonas EP, en lo referente al mantenimiento de los equipos generadores de energía, se requiere la inmediata intervención de sostenimiento mecánico, orientada hacia la disminución de impacto ambiental, así como la optimización de las tareas de mantenimiento. La metodología a implementarse se fundamenta en la utilización de Reliability Centered Maintenance, RCM, o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, en las centrales de generación.

Para el logro de esta intervención se tendrá en cuenta principalmente el uso de motores a gas ya que el costo del mismo es bastante bajo en relación a los motores que utilizan combustibles como diésel y crudo. Más eficientes y exhaustivas a fin de que todos los sistemas no tengan pérdidas. La utilización de los motores a crudo que son bastante robustos y que su carga de funcionamiento soporta el consumo del campo, y su excedente entrega al Sistema eléctrico interconectado petrolero SEIP. Para tal efecto, se realizara la propuesta de mejoramiento de los planes de mantenimiento de los sistemas de generación eléctrica en el CPF.

Debido al uso de diésel en los motores Caterpillar, los mismos que trabajan con bajas potencias, serán reubicados a corto plazo para dar paso al uso de otros combustibles como el gas y crudo generados en el mismo sistema de producción, y que no requieren un tratamiento adicional de destilación fraccionada, como es el caso del diésel.

Los motores a gas tienen menos emisiones contaminantes de efecto invernadero, igual que los a crudo debido a las tecnologías de última generación que utilizan a fin de convertir en energía todos los componentes de los hidrocarburos.

La determinación de las tareas en el proceso de producción bajo RCM coordina técnicamente la realización de las rutinas de mantenimiento de forma adecuada, las mismas que son especificadas por los fabricantes, sin comprometer su integridad como activos, que actúan en la generación de energía. Las técnicas que especifican el uso de RCM serán las guías necesarias para alinear el contexto de mantenimiento.

Se utilizarán estas técnicas para garantizar el suministro de energía dentro del CPF y de esta manera también la entrega hacia las islas de producción, a fin de evitar pérdidas que afectan a los índices de producción y económicas al estado ecuatoriano.

Realizar un aporte significativo en el análisis de tareas utilizando la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es la tarea primordial del presente trabajo de investigación en el bloque 15 de Petroamazonas (PAM), para dejar como inicio de análisis futuros por sistemas y por componentes de la maquinaria utilizada para la extracción de crudo en el oriente que pueda ser realizado por personal involucrado directamente con las tareas de mantenimiento así como la participación de personal operativo.

1.5. Objetivo General

Realizar la propuesta de mejoramiento de los planes de mantenimiento de los equipos críticos de generación eléctrica de la central de producción y facilidades (CPF), utilizando la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), en el Bloque 15 de Petroamazonas EP.

1.6. Objetivos Específicos

- Realizar el estudio del diseño y comportamiento de los sistemas del CPF, en el contexto operacional actual.
- Determinar la criticidad de los subsistemas objeto de estudio que componen el sistema de generación eléctrica del CPF del bloque 15 de PAM.
- Aplicar la metodología del RCM en los subsistemas analizados de mayor criticidad, de conformidad con la norma SAE JA 1011.
- Elaborar las guías y protocolos de respuesta en casos de emergencias para los activos analizados.

1.7. Hipótesis

Al mejorar los planes de mantenimiento de los equipos críticos de la generación utilizada en el CPF, disminuyen las pérdidas operacionales asociadas al desempeño de los sistemas del bloque 15 de Petroamazonas EP.

CAPITULO II

2. Marco de referencia (Estado del Arte)

Se inicia con una descripción de los conceptos básicos que regirán esta investigación y bajo el esquema que se va a trabajar durante la misma.

Estos conceptos y herramientas permitirán al final establecer lineamientos claros en sinergia con las rutinas establecidas al momento y sujetas a cambio en bien de mejorar la gestión del mantenimiento, utilizando las estrategias desarrolladas en estos años.

2.1. RCM

El RCM analiza la función de cada elemento, para determinar si este se encuentra bajo condiciones iniciales, o si ha perdido su desempeño, mediante esto se desea establecer los modos de falla o causa de daño y determinar su efecto, para obtener u optimizar los planes de mantenimiento en elementos críticos de un activo.

El RCM se puede definir como “un método sistemático y estructurado para determinar el mantenimiento más adecuado a aplicar a una instalación para que siga cumpliendo con las funciones para las que fue concebida y en su contexto operacional actual”. (Moubray, 1997, p.6)
El Mantenimiento centrado en la confiabilidad es una nueva filosofía que busca mantener la funcionalidad de los equipos bajo los rendimientos de selección, a pesar de las condiciones operativas.

Para realizar el RCM se requiere primero jerarquizar el sistema, subsistemas y sus componentes, para poder establecer las filosofías de mantenimiento más apropiadas.

La norma SAE JA 1011 establece las siguientes preguntas para satisfacer en el planteamiento de un equipo en un mantenimiento centrado en la confiabilidad.

1. ¿Cuáles son las funciones, rendimientos estándar en el contexto operacional actual? (función)
2. ¿De qué manera falla no cumpliendo sus funciones? (falla funcional)
3. ¿Qué causa cada falla funcional? (Modo de falla)
4. ¿Qué pasa cuando cada falla ocurre? (Efectos de falla)
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla? (Consecuencias de falla)
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué se debería hacer si no se puede encontrar una tarea adecuada? (SAE-JA1011, 2002 p.6).

2.2. Jerarquización de subsistemas y equipos

Según señala (RUBIO, 2014, p. 60) “el método de William T. Fine es de evaluación matemática para control de riesgos, la principal característica diferenciadora se basa en tres factores”. Los factores que considera ese método, se resumen en la tabla 1-2 que corresponden a consecuencias, frecuencias y probabilidades. (Velasco, 2011, p.45).

Tabla 1-2 Valoración cualitativa de criticidad

Tabla de Consecuencias		
1	Catastrofe, numerosas muertes, pérdidas mayores a 1 MUS\$	100
2	Varias muertes, daños entre 500 KUS\$ y 1 MUS\$.	50
3	Muerte, daños de 100 a 500 KUS\$.	25
4	Lesiones muy graves, amputación, invalidez, daños hasta 100K US\$	15
5	Lesiones incapacitantes, daños hasta 1000 US\$.	5
6	Lesiones y daños menores.	1

Tabla de Frecuencia		
1	Continua - muchas veces al día	10
2	Frecuente - una vez al día	6
3	Ocasional - hasta una vez al mes	3
4	Inusual - hasta una vez al año	2
5	Raro - se sabe que puede ocurrir.	1
6	Muy Raro - no se conoce ocurrencia pero es posible	0.5

Tabla de Probabilidad		
1	Es el resultado más probable y esperado.	10
2	Muy Posible (no sería extraño que ocurra)	6
3	Posible (sería un evento inusual pero puede ocurrir).	3
4	Poco Posible (evento raro pero se sabe que ha ocurrido).	1
5	Remoto (extramadamente raro pero concebible).	0.5
6	Muy remoto (casi imposible).	0.1

Magnitud del Riesgo	Clasificación	Acción
400 o mas	Muy Alto	Detención inmediata.
200 -400	Alto	Corrección inmediata.
70-200	Notable	Corección urgente.
20-70	Moderado	Debe corregirse.
20 o menos	Bajo	Tolerable.

Fuente. - Método William T. Fine. Fuente (VELASCO, 2011)

2.3. Guías y Protocolos.

Las guías y protocolos que se desarrollaran a lo largo de la investigación son documentos en los cuales se indican el alcance de las acciones a tomarse, los Departamentos involucrados, el personal responsable por las acciones a tomarse Ej., Asistencia en el caso de una parada General de Planta. También se toma en cuenta la locación o ubicación de la planta o plantas donde se desarrollan los eventos, y por último recomendaciones generales a fin de no entorpecer las operaciones en casos de emergencia.

2.3.1. Mapas Causales. (Planes de acción)

Los Mapas Causales son instrumentos gráficos para organizar y representar el conocimiento a través de la relación entre conceptos. Por ejemplo, es posible sintetizar decenas, cientos de páginas en un Concept Map. La construcción de un Mapa Conceptual es un proceso activo

sumamente efectivo para comunicar ideas complejas, generar nuevas ideas, explorar el conocimiento, contribuir al aprendizaje y fomentarlo. Por estas razones preferimos el empleo de esta técnica creada por Joseph Donald Novak y sus colaboradores y que aporta una válida respuesta a un problema generalizado: ¿cómo aprender a aprender? Esperamos que los mapas conceptuales que se ponen a disposición puedan ser útiles y logren aportar a la comprensión del conocimiento relacionado con la vida empresarial, el management y la gestión de activos.

Los Planes de acción que se generen por las causas generadas en el ACR serán los que determinen los correctivos necesarios para que esos fallos no vuelvan a repetirse. (RELIASOFT, 2015. p.1)

2.4. Selección del sistema

Basado en la jerarquización de equipos y el aporte que estos entreguen a la generación de la planta, se obtendrá el sistema a analizar en el presente estudio.

2.5. Descripción del sistema

El sistema a describirse será el que la matriz de jerarquización de activos críticos, evidencie el mayor impacto en la operación, según las ponderación que son emitidas en formato establecido por Petroamazonas para esta actividad, que hoy en día constituye un aporte muy importante en la planificación y toma de decisiones en el área de Mantenimiento en las empresas de vanguardia.

2.6. Identificación de las funciones del sistema y fallas funcionales.

Las funciones del sistema, así como las fallas funcionales serán determinadas por los datos aportados por el sistema MAXIMO Oil & Gas, el mismo que obedece a una alimentación sistemática que se ha realizado a través del historial de cada activo dentro de la empresa como parte del control y gestión de activos, y manejada ahora por el Ingeniero de Gestión de Activos.

Se utiliza los conceptos existentes sobre la aplicación del RCM en la industria ya que estos marcan los lineamientos para poder establecer los estudios necesarios basados en una filosofía de análisis propia de este proceso de desarrollo del Mantenimiento Industrial.

- **Función**

Describe la función para la cual ha sido diseñado o seleccionado el activo. Esta se basa en el parámetro de funcionamiento deseado, tomando en cuenta el contexto actual del activo.

La función es la razón principal por lo cual es adquirido el activo y debe definirse lo más preciso posible.

Función se define como al propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico.

- **Falla funcional.**

Un activo falla cuando no realiza lo que el usuario desea que haga, siendo esta una pérdida total o parcial de la operación del activo. Los parámetros de operación del equipo indicarán si existe algún problema con la capacidad de operación.

- **Modo de Fallo.**

Un modo de falla se define como cualquier evento que origina una falla funcional. Según la identificación correcta de origen del modo de fallo, se elegirá la filosofía a utilizar para ese activo.

- **Efecto de falla.**

Cada modo de falla puede producir una lista de distintos efectos. Al describir un efecto de falla, se debe describir en detalle la información para ayudar a la evaluación de las consecuencias de las fallas. Los efectos de las fallas deberán recolectar principalmente:

- ✓ Evidencia que ha existido una falla:
- ✓ Amenaza a la seguridad y medio ambiente
- ✓ Impacto a la operación o producción

- **Diagrama de decisión.**

Este diagrama es una herramienta que sirve para tomar decisiones básicamente en cuatro enfoques que son considerados como consecuencias, ocultas, de seguridad, medio ambientales y operacionales, nos ayuda a discernir sobre qué aspecto se debe asistir para la consecución de resultados adecuados” (SAE-JA1011, 2015, p. 6).

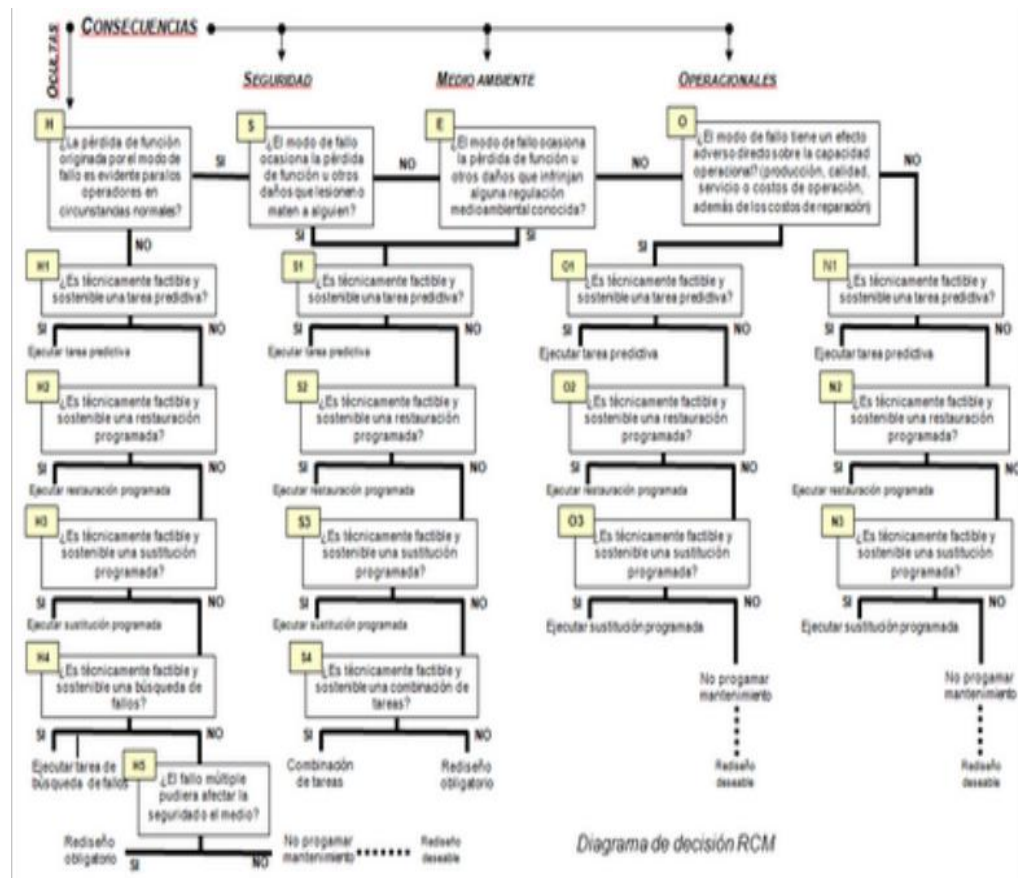


Figura.1-2 Diagrama de decisión
FUENTE.- (SAE, 2011)SAE JA 1011 p.7

• ¿Qué pasa si?

Esta técnica examina sistemáticamente la repuesta del sistema de proceso a las fallas del equipo, errores humanos y condiciones del proceso anormales. Esto requiere la participación de un equipo quienes conocen y entienden los riesgos básicos asociados con la operación y el proceso. El líder del equipo ayuda al desarrollar las preguntas ¿Qué pasa si? Acerca del proceso, tales que “¿Qué pasa si la presión del regulador falla al cierre?”. Respondiendo estas preguntas el equipo identifica los riesgos potenciales y sugiere vías para mejorar.

El resultado de un análisis ¿Qué pasa si?, son generalmente documentados por listado de preguntas específicas, respuestas, y recomendaciones generadas en las reuniones. Una de las

fortalezas de este método es que este puede ser aplicado a cualquier sistema en cualquier etapa de su diseño o desarrollo.

Debido a que esta no es sistemática como otras técnicas, ¿Qué pasa si?, no es usada generalmente como una técnica autónoma.

2.7. Análisis de modos de falla y efectos (FMEA)

La técnica FMEA envuelve estudio metódico de las fallas de los componentes. Aquí, todos los modos de fallo para cada componente en un sistema son identificadas, y el efecto de fallo de cada componente en el sistema evaluado. Se identifican salvaguardas, y recomendaciones para mejorar son documentadas. Debido a que el FMEA se enfoca en las fallas de los componentes, problemas relacionados al proceso en la industria pueden ser pasados por alto. Sistemas de control complejos, tales como Shutdown de emergencia o sistemas de bloqueo también son analizados con esta técnica.

2.8. Modos de falla y análisis de efectos (FMECA)

“(FMECA) son metodologías diseñadas para identificar modos de fallo potenciales de un producto o proceso, para evaluar el riesgo asociado con los modos de fallo, para clasificar los problemas en términos de importancia e identificar y llevar a cabo acciones correctivas para abordar las preocupaciones más serias.” (RELIASOFT, 2015, p. 60).

Bajo este esquema este trabajo desarrolla las acciones necesarias para minimizar los fallos potenciales que se traducen en pérdidas económicas en la empresa.

2.9. Selección de tareas.

Las tareas que se muestran en la tabla 2-2 constituyen un resumen de las tareas generales de mantenimiento que son propuestas por los fabricantes, se las ha venido efectuando y constan de rutinas de mantenimiento propuestas y tomadas en cuenta en el sistema Maximo.

El Maximo se constituye como el sistema administrador de la gestión del mantenimiento en la organización, al cual se deberá alimentar para poder tener datos de calidad que permitirán realizar los estudios de análisis de mejores técnicas a fin de sacar el mejor provecho de la innovación de tecnologías. Las mismas que con la experiencia de campo han ido evolucionando a través de los años y cambiando desde el mantenimiento correctivo, pasando por el mantenimiento preventivo para hoy por hoy estar utilizando el mantenimiento basado en condición. Ha sido una constante evolución en la cual han estado inmersos a través de todos estos años de desarrollo de la institución.

Tabla 2-2 Tareas motores Caterpillar

FRECUENCIA	TAREAS	TIEMPO
500 horas	Antes de apagar el motor chequear y registrar temperaturas de indicadores	0:10
	Antes de apagar el motor, tomar muestra de aceite, verificar parametros de funcionamiento y detectar posibles fugas o ruidos fuera de lo normal	0:05
	Cambio de aceite y filtros	0:45
	Cambio de filtros de combustible y racor	0:30
	Limpieza de radiador	0:15
	Chequeo de bandas	0:10
	Chequeo de niveles de electrolito y refrigerante en el radiador	0:10
	Inspección de guardas de partes en movimiento	0:05
	Chequeo respiraderos ventilacion de el carter y de sus filtros de tenerlos instalados	0:05
	*** instrumentación	0:00
	Chequear calibración baja presión de aceite: 40 psi	0:05
	Chequear calibración alta temperatura de aceite:220 f	0:05
	Chequear calibración alta temperatura de agua: 220 f	0:05
	Chequear calibracion alta temperatura de aire en la entrada: 145 f	0:05
	Chequeo de los switches de nivel de agua. Aceite	0:05
	Chequeo y limpieza del panel de control del motor	0:05
	revisión y/o cambio de manómetros locales	0:05
	Realizar reinstalación intermedia en conjunto con mecánicos	0:10
	Arrancar motor en bajas rpm y activar switch de vibración	0:05
	Arrancar motor en bajas rpm y activar switch de baja presion de aceite	0:05
	Repetir los pasos (task) 220 y 230 para 2 señales de apagado de motor-bomba	0:05
	*** general (mecánico/eléctrico/instrumentación)	0:00
	Arrancar el equipo y verificar que los parametros de funcionamiento esten normales	0:05
	Chequear indicador de temperatura	0:05
4000 horas	Calibración de válvulas c/ 4000 horas	0:30

Fuente.- Sistema maximo PAM (2006) vigente.

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Las tareas como se ha manifestado difieren de las marcas de la maquinaria, es así que para Caterpillar realizamos las siguientes tareas que son controladas por los técnicos como check lists a fin de cumplir con esos requerimientos básicos de mantenimiento y poder realizar las paradas programadas.

En ese tipo de maquinaria que oscilan dentro de 250 horas, 750 horas, 850 horas, 1000 horas, dependiendo de los distintos modelos existentes y de la capacidad de sus carter (reservorio de aceite), que determinan la vida útil de los aceites utilizados en sus mantenimientos preventivos.

Todas estas tareas se las realiza en 60 minutos o 90 minutos si el mantenimiento se lo realiza a las 4000 horas de funcionamiento que se debe calibrar válvulas en el motor, caso contrario se cumplen las tareas indicadas al mismo tiempo considerando distintos frentes de trabajo.

Todas estas tareas se las realiza bajo control de los horómetros que posee cada unidad a fin de llevar un control exhaustivo a fin de llegar a las horas recomendadas los mantenimientos recomendados, del mismo modo se llegará a las tareas de top overhaul que se los realiza a la mitad de vida útil de la unidad y más tarde el mayor overhaul que es la reparación mayor de una unidad de generación a fin de dejarla en condiciones de nueva, con su confiabilidad del 100%.

En el Anexo G se puede evidenciar las tareas recomendadas por el fabricante y las adoptadas por PAM, para las tareas de mantenimiento en donde básicamente se establece las siguientes comparaciones:

La rutina de inspección diaria se basa en 5 tareas básicas que corresponden a las recomendadas por el fabricante para el caso de los equipos de PAM.

El plan de mantenimiento recomendado por el fabricante a las 250 horas, con excepción de las tareas respecto al refrigerante, se han establecido bajo condición para las 500 horas.

El plan de 500 horas según fabricante se realiza por PAM a las 500 horas. Respecto al test de cierre de aire, no se realiza debido a que este mecanismo de que bloqueo se encuentra deshabilitado.

El plan de 1000 horas se realiza por PAM a las 500 horas.

Las tareas restantes, se realizan bajo condición.

Tabla 3-2 Tareas motores Waukesha

FRECUENCIA	TAREAS	DURACION
8000 HORAS	Chequear y realizar calibración de switch alta temperatura de aceite: 205 °F. Una vez por año.	0:15
	Chequear calibración alta temperatura de agua: 200 f. Una vez por año	0:15
	Verificar ajustes en cables de entrada al breaker principal. 1 vez por año.	0:10
	Chequear calibración alta temperatura de aire en la entrada: 145 f. 1 vez por año.	0:15
4000 HORAS	Drenar los condensados en filtros coalescentes. Cada 4.400 horas destapar, revisar y/o reemplazar cartuchos.	0:30
	Calibración de válvulas c/ 4000 horas, llenar el respectivo formato de calibración	0:00
1100 HORAS	Verificar ajustes de conexiones de cable de fuerza estator principal	0:10
	Chequeo y limpieza del panel de control/interconexión del generador.	0:30
	Chequeo de varistores del generador eléctrico.	0:15
	Limpieza de radiador/Aero enfriador/medición de corrientes de motores enfriadores.	1:00
	Arrancar generador en vacío y activar switch de vibración	0:10
	Limpiar circuito de la excitatriz	0:15
	*****Llenar formato de mantenimiento check list *****	0:00
	Chequeo respiraderos ventilación del cárter y de sus filtros de tenerlos instalados	0:10
	Revisión y/o cambio de manómetros locales.	0:20
	Chequeo y limpieza de los pick ups magnéticos.	0:15
	Inspección general de partes de motor y engrase rodamientos.	1:00
	Arrancar generador en vacío y activar switch de baja presión de aceite	0:10
	Chequear varillaje del actuador, realizar ajuste y cambio de rotulas en mal estado.	0:10
	Antes de apagar el motor, tomar muestra de aceite, verificar parámetros de funcionamiento	0:20
	Antes de apagar el motor chequear y registrar temperaturas del damper.	0:10
	Cambio de aceite del motor: para motores con aceite mineral cada 1100 horas, para motores con aceite sintético cada 4000 horas,	1:00
	Chequeo de regulador de voltaje, ajuste de terminales.	0:15
	Inspección de guardas de partes en movimiento	0:20
	Chequear nivel de refrigerante, completar de ser necesario.	0:10
	Arrancar la unidad en vacío y detectar posibles fugas o ruidos fuera de lo normal	0:00
	Verificar ajustes en cables de control en paneles terminales y regletas	0:30
	Cambio de filtros de aceite y aire.	0:30
	Revisar y dar mantenimiento a la válvula de entrada de gas.	0:15
	Revisar y de ser necesario recalibrar la válvula Fisher de regulación de gas	
	Proteger contra vibración a cables de fuerza y control	0:20
	Chequeo de bandas de alternador y motor eléctrico de Aero enfriador, de ser necesario cambio.	0:15
	Chequear calibración baja presión de aceite: 40 psi	0:15
	Chequeo de los switches de nivel de agua y de aceite.	0:40

	Chequeo de diodos	0:15
	Verificar presión diferencial de filtros coalescentes de gas	0:30
	Realizar reinstalación intermedia en conjunto con mecánicos	0:10
	Limpiar cables de fuerza y control	0:20
	Arrancar el equipo y verificar que los parámetros de funcionamiento estén normales	0:15

Fuente.- Sistema maximo PAM (2006) vigente

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

De igual manera se cumplen con las rutinas de mantenimiento en la Marca Waukesha tabla 3-2, estas recomendaciones son dadas por fábrica y se las cumple por parte del técnico con check lists a fin de asegurar el cumplimiento de todas ellas.

Por la diferencia de lubricante utilizado al ser motores a gas, las rutinas de mantenimiento se las realiza a las 1100 horas, y luego rutinas de 4000 horas, 8000 horas hasta llegar a las horas de top overhaul y más tarde a las de mayor overhaul.

Todas basadas ya en rutinas de análisis de vibraciones, análisis de aceite que son técnicas que se han incluido en estas incluyendo ya el concepto de la realización de mantenimiento basado en condición y que se constituye en parte medulas de la presente investigación.

La mantenibilidad de estas unidades es también un factor de importancia ya que son el soporte de la generación principal, así como la disponibilidad de las mismas como factor preponderante al uso de combustible (gas natural) que constituye un ahorro muy importante en la consecución de objetivos empresariales.

En el Anexo H se puede observar las recomendaciones del fabricante y las rutinas realizadas por PAM en las que se establece la siguiente comparación:

Dentro del Mantenimiento realizado por PAM a las 800 horas, abarcan las recomendaciones del fabricante hasta las 2000 horas.

Tabla 4-2 Tareas motores Jenbacher

FRECUENCIA	TAREAS	DURACION
2000 horas	Reemplazo de pre filtros de aire	0:10
	Limpieza de cables de 30 kV y socked de bujías	0:10
	Montaje de tapas de culatas	0:10
	Ajuste de pares de atornillamiento	0:25
	Inspección/cambio del filtro de entrada de gas (cambiar filtro 1/año)	0:10
	Reajuste de los terminales de las bobinas de ignición	0:10
	Engrase de las rotulas del varillaje y válvula de estrangulación	0:05
	Desmontar tapas de las culatas	0:10
	Parada de motor y colocación de bloqueos en el motor	0:05
	Ajuste de bornes de la tarjeta de encendido ic922 woodward	0:10
	Calibración de bujías	0:15
	Cambio de filtro de niebla de aceite	0:10
	Calibración de válvulas	0:40
	Limpieza de pick up's.	0:25
	Limpieza de radiador	0:15
	Calibración de válvulas	0:40
8000 horas	Cambio de aceite	
4000 horas	Limpieza del generador e inspección de los varistores, diodos y cableados	0:15
10.000 horas	Limpieza del generador e inspección de los varistores, diodos y cableados	0:15
	Sustitución de piezas de elastómero	1:30
	Realizar inspección del intercambiador de calor mezcla/agua	1:00
	Realizar el mantenimiento del turbocompresor	2:00
	Realizar el mantenimiento de la bomba de agua	1:00
	Revisión/inspección del motor de arranque	0:30
	Revisar y reemplazar el control de mezclador de gas/cambio del motor a pasos	
20.000 horas	Sustituir la válvula de bypass de la mezcla	
	Cambio de amortiguador (damper cigüeñal)	
	Mantenimiento de armario de control eléctrico	
30.000 horas	Top Overhaul	

Fuente. - Sistema maximo PAM (2006) vigente

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

De igual manera Jenbacher propone las rutinas de mantenimiento tabla 4-2 para la conservación y funcionabilidad de equipo a fin de garantizar la confiabilidad y la entrega oportuna de energía a los sistemas operados por Petroamazonas.

Se mantienen los check lists a fin de que se realicen todas las tareas encomendadas a cada técnico dentro de las diferentes disciplinas como son, mecánicas, eléctricas, instrumentación,

cabe indicar que en esta maquinaria se utiliza aceite sintético que por sus propiedades se lo cambia cada 8000 horas. Por lo que las rutinas se las efectúa cada 2000 horas.

Es aquí donde ya ingresa el área especializada incluida ya por PAM que constituye la aplicación de mantenimiento predictivo con tecnología de punta y desarrollada en estos últimos años, que es el laboratorio de aceites, y que se constituirá en la presente investigación un factor preponderante la funcionalidad del mismo a fin de poder determinar y garantizar el mantenimiento por condición y que marca la diferencia con lo que recomiendan los fabricantes en sus rutinas de mantenimiento.

En el Anexo I se incluyen las rutinas de mantenimiento establecidas por el fabricante y las establecidas por PAM estableciendo una interesante comparación:

El mantenimiento realizado a las 2000 horas recomendado por el fabricante, se realizan todas las tareas en el mantenimiento de 2000 por parte de PAM.

El mantenimiento realizado a las 10000 horas se realiza todas las actividades recomendadas por el fabricante.

El mantenimiento realizado a las 20000 horas se realiza todas las actividades recomendadas por el fabricante.

Tabla 5-2 Tareas motores Wartsila

FRECUENCIA	TAREAS	DURACIÓN
500 horas	Mantenimiento del mecanismo de control (inspección. Limpieza y lubricación.) (22.2)	1:00
	Realizar análisis de agua ht y lt (19.6/02.3)	1:00
	Realizar análisis aceite Carter (02.2.2)	0:30
	Toma de presiones de combustión de los cilindros (12.8/03.4.3)	0:30
	Limpiar filtro centrifugo (18.9.1)	1:00
	Limpieza de cajas calientes bancos a y b.	2:00
	Limpieza de filtros de aire del alternador	2:30
	Inspección de guardas motor-generator	1:00
	Inspección de aire acondicionado	1:00
	limpieza del aire acondicionado	0:30
1000 horas	Cambio de los cartuchos de los filtros de combustible.	1:00
	Rev. Y limpiar filtros de aire de admisión a turbocompresores (externos) (15)	1:00
	Chequeo de la condición de las válvulas de admisión y de descarga (12.5/06.1/12.a)	2:30
	Accionar switch paro de emergencia de panel local cfe	0:20
	Accionar switch paro de emergencia de panel cfc	0:20

	Prueba de funcionamiento con transmisor, baja presión de aceite lubricación ptz201	0:20
	Prueba de funcionamiento con transmisor de alta temperatura en salida de agua-ht motor tez402 / tez403	0:20
	Prueba de funcionamiento del switch de alto nivel y alto-alto nivel de fugas combustible caja caliente	0:20
	Prueba de funcionamiento por sobre velocidad w723	0:40
	Simular alto nivel de fugas en la tubería de retorno de liqueos banco a ls103a	0:20
	Simular alto nivel de fugas en la tubería de retorno de liqueos banco b ls103b	0:20
	Comprobar alarma por alto nivel de liqueos sucios hot-box banco a	0:20
	Comprobar alarma por alto nivel de liqueos sucios hot-box banco b	0:20
	Comprobar señal de virador enganchado gs792	0:20
	Comprobar señal de posición stop lever gs171	0:20
	Comprobar alarma por paro de extractor de gases hot-box	0:20
	Alarma de funcionamiento del oil mist separator	0:20
2000 horas	Chequeo de los enfriadores de aire de barrido en el lado de agua (15.8)	0:45
	Mantenimiento de inyectores (inspección, limpieza, re calibración cambio de toberas) (16.3.3 / 16.4)	0:50
	Cambio de aceite en governor (02.2.3/22.4)	0:20
	Limpieza de filtros de aire del alternador	0:15
	Inspección de guardas motor-generator	2:00
	Inspección de carcasa	1:00
	Cambio de aceite de cojinetes	0:20
	Chequeo de manómetros y termómetros, reemplace los defectuosos (23.1.4.1)	0:20
	Accionar switch paro de emergencia de panel local cfe	0:20
	Accionar switch paro de emergencia de panel cfe	0:20
	Prueba de funcionamiento con transmisor, baja presión de aceite lubricación ptz201	0:20
	Prueba de funcionamiento con transmisor de alta temperatura en salida de agua-ht motor tez402 / tez403	0:40
	Prueba de funcionamiento por switch de alto nivel de fugas combustible caja caliente	0:20
	Prueba de funcionamiento alarma transmisor, baja presión aire de arranque pt301	0:20
	Prueba de funcionamiento calentador anti condensados del generador apagado	0:20
	Prueba funcionamiento alarma, switch alta pres. Diferencial filtro aceite lubricante	0:20
	Prueba funcionamiento transmisor de presión de ht	0:20
	Prueba funcionamiento transmisor de presión de lt	0:20

Fuente.- Sistema maximo PAM (2006) vigente

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

La marca Wartsila realiza las rutinas y recomendaciones tabla 5-2, indicadas a fin de mantener la confiabilidad y disponibilidad de los equipos dentro de las especificaciones y parámetros de funcionamiento, las mismas que por constituirse de equipos de 6.7 MW son de duración elevada, como se puede ver en la tabla de rutinas de 1 hora, 2 horas 30 minutos, etc. Debiendo estos tiempos ser compensados con generación a gas y diésel, que constituyen las energías de apoyo del CPF.

Se mantienen las rutinas de mantenimiento recomendadas así como las que intervienen para mantenimiento predictivo dentro de las áreas desarrolladas, mecánicas, eléctricas, instrumentación y predictivas, de todos estos factores dependerán la toma de decisiones a implementarse a fin de mantener las unidades en condiciones óptimas de funcionamiento.

En los datos del Anexo J se pueden seguir las tareas recomendadas por el fabricante contrastadas con las tomadas por PAM, en donde se pueden observar el mantenimiento a componentes de las unidades que no se las tomo en cuenta en las paradas anteriores.

En estas unidades por la importancia que tienen para el sistema base de generación se consideran como rutinas que no se las puede dejar de desarrollar, tomando el tiempo necesario para hacerlo; existe una característica importante a ser tomada en cuenta y es que pese a que si toman mucho tiempo el implementarlas y se las deba hacer en dos o tres días, al fin de cada día las unidades deberán al finalizar las jornadas de trabajo estar en condiciones de entregar energía al sistema y las actividades faltantes retomarlas al día siguiente.

2.10 Implementación del Programa

En la Figura 2-2 mostrado a continuación se indica las cuatro generaciones dentro del área de procesos, que es en donde se recibe un fluido trifásico, es decir constituido de crudo, gas y agua de donde:

El crudo al separarse es utilizado para la entrega al sistema SOTE, que constituye la razón de producción que posee PAM, parte de este crudo se lo utiliza en la generación eléctrica para las islas de producción y para el funcionamiento de la Planta de Procesos, y su excedente se lo exporta a otras plantas de PAM a través del SEIP para ser utilizada en actividades también de extracción de crudo.

El gas al separarse es utilizado para la generación de energía eléctrica con los motores Waukesha y Jenbacher, constituyéndose en energía a bajo costo y en el soporte fundamental de la generación a crudo, el mismo es manejado a través de dos compresores de gas Ariel que es el corazón de dicha generación y que tiene rutinas de mantenimiento también estrictas por su importancia.

El diésel se obtiene en una planta destiladora Topping Plant, que se encuentra dentro de la planta de procesos, actualmente casi toda esta producción abastece la demanda de generación aislada, es decir la generación a donde no llega el sistema interconectado, sin embargo el déficit se lo compra a las refinerías estatales de Petroecuador, este consumo se lo minimizará con el mismo fin de ahorro de divisas.

Diagrama de flujo de la planta de procesamiento de gas:

- GENERACION WARTSILA**
2 UNIDADES
11 MW
- GENERACION JENBACHER**
8 UNIDADES
6.4 MW
- GENERACION WAUKESHA**
3 UNIDADES
2.1 MW
- GENERACION CATERPILLAR**
5 UNIDADES
500 kW RESERVA FRIA
- COMPRESORES DE GAS**
- PLANTA DE PROCESOS**
 - H2O
 - CRUDO
 - GAS
- DIESEL**

Flujos de conexión:

- Las unidades de generación Wartsila, Jenbacher, Waukesha y Caterpillar están conectadas a los compresores de gas.
- Los compresores de gas están conectados a la planta de procesamiento.
- La planta de procesamiento produce H2O, CRUDO y GAS.
- Los compresores de gas también están conectados a un tanque de DIESEL.

Elaborado por: Benítez Iván, 2015

CAPITULO III

3. Diseño de investigación (Métodos y materiales)

La presente investigación responde a un estudio de tipo descriptivo, enmarcado en el detalle de hechos observados y explicados al indicar el porqué de los hechos, estableciendo relaciones de causa- efecto; además aplica un método deductivo al partir de una premisa general y obtener conclusiones de un caso particular, y entre otros realiza observaciones aplicativas basadas en la teoría. De tal manera que en el caso de la aplicación metodológica en el Bloque 15 de Petroamazonas estamos hablando de una investigación aplicada al resolver un problema práctico, a través del aporte del conocimiento científico desde un punto de vista teórico.

3.1 Sistemas de Generación en CPF

La generación de energía en CPF, consta de las capacidades disponibles indicadas en la tabla 1-3 estas varían según su tipo de combustible y fabricante, gas, diésel y crudo. Cada tipo de equipo es detallado a continuación.

Tabla 1-3 Capacidad de los sistemas

Sistema de Generación	Capacidad Disponible[MW]	%
Wartsila	13.4	45.2%
Jenbacher	9	30.4%
Waukesha	3	10.1%
Caterpillar	4.25	14.3%
Total	29.65	

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

- Generación Caterpillar, que a mediano plazo será completamente reemplazada por las generadoras de energía a gas y a crudo, solo mantenerla como reserva fría.

- Generación Jenbacher, que será junto con la Generación Waukesha las que generen la energía necesaria para suplir la demanda de la misma ante el suministro de la Energía de crudo Wartsila que será la principal fuente de abastecimiento, tanto dentro del CPF como en la distribución hacia las islas de producción.
- Generación Waukesha, que suministrara energía junto con la Generación Jenbacher para trabajos a realizarse en la Generación Wartsila así como en el fallo de las unidades Wartsila, es decir estarán como energía rodante ante cualquier eventualidad.
- Generación Wartsila, que se constituirá en la principal generación de energía con dos generadores de 6.7 MW, los mismos que distribuirán en el CPF y en las islas de producción, la misma que se debe mantener robusta con el fin de no provocar pérdidas innecesarias el sistema de producción.

La demanda de energía dentro de la operación se comparte entre la requerida por los pozos, que es enviada desde la central de generación, hasta cada isla de producción. También se considera otra carga importante dentro de las operaciones del bloque es la planta de procesos y reinyección de agua de formación. El consumo de las áreas administrativas, comunes, recreación y misceláneos es contemplada en el estimado de energía. El excedente de potencia generada, se exporta a través del SEIP, la misma que constituye 5.5 MW en operación normal.

En el Anexo K se detalla la distribución de la carga, la que representa el 70% aproximadamente de la capacidad disponible. Así mismo un estimado de pérdidas posibles de producción ante 2 escenarios.

1. Salida súbita de 1 moto generador Wartsila.
2. Trabajos Mayores programados en un moto generador Wartsila

Las operaciones del CPF se encuentran alimentadas por la planta centralizada de generación para alcanzar, al finalizar la interconexión del proyecto, una producción aproximada de 16000 BPD. Siendo para el primer escenario, la producción entregada por 80 pozos productores, que producen en promedio 150 BPD. La pérdida de producción, considerando un precio del barril por \$45, se ha estimado en \$29,063 por cada hora parada.

Islas de producción	Producción [BPD]
Limoncocha	5.000
Paka norte Yanaquincha	
Pacay	8.500
Santa Elena	500
Itaya	2.000
Total	16.000

El segundo escenario, se contempla los trabajos planificados de mantenimiento como Top-Overhaul o Major-Overhaul, el primero realizado durante 5 días, y el segundo en 15 días. Aquí es importante notar que si bien es cierto no incurrimos en pérdidas ya que al estar conectados al SEIP y ser un trabajo planificado la demanda de los 5.5 MW, son suplidos por otras generaciones fuera del bloque 15, lo importante es hacer referencia a que durante estos periodos se deja de exportar esta cantidad de energía, que se constituye como fundamental en los procesos de obtención de crudo en otros bloques.

3.1.1. Generación Caterpillar



Figura 1-3 Generación motores Caterpillar
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

La generación Caterpillar ha sido utilizada por más de 85 años a nivel mundial, entregando energía a facilidades urbanas, marinas y remotas con clima extremos, modelo indicado en la Figura1-3.

Caterpillar es el más grande fabricante de motores diésel y generadores de alta velocidad, con una amplia cartera de productos para aplicaciones industriales.

La tecnología utilizada cumple con las mayores regulaciones sobre emisiones a nivel mundial, eficiencia de combustible de clase mundial y bajo costo de ciclo de vida.

Caterpillar ofrece equipos con capacidades desde 5 hasta 16000 kW, utilizando diésel o gas para la generación a partir de motores por compresión.

Según las capacidades de potencia, y las aplicaciones, Caterpillar ha desarrollado diversos modelos para la generación diésel, entre ellos existen:

- Serie 400 (3,7 – 45 kW)
- Serie 800 (39 – 60 kW)
- Serie 1100 (49 – 186 kW)
- Familia 3200 (93 – 336 kW)
- Familia 3300 (63 – 300 kW)
- C-9/C-11/C-13 (227 – 292 kW)
- C-15/C-18/ 3400 (186 – 1044 kW)
- Familia 3500 (507 – 2500 kW)
- Familia 3600 (1350 - 7200 kW)

Caterpillar ofrece equipos para aplicaciones de petróleo y gas, con una probada confiabilidad y durabilidad, teniendo un diseño robusto para resistir una vida prolongada hasta overhaul y bajos costos operativos.

3.1.2 Generación Waukesha



Figura 2-3 Generación motores Waukesha

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

La Generación Waukesha se comprende de motores a gas encendidos por chispa, cuyo rango de potencia se encuentra entre 120 a 3600 kW. Con más de 100 años de experiencia en diseño, desarrollo y fabricación de motores, mostrados en la Figura 2-3.

Los equipos Waukesha son conocidos por su durabilidad, y rendimiento en condiciones severas de operación su robustez asegura una confiable continua operación.

Estos equipos poseen 5 familias de generadores, ATGL, APG, VHP, VGF y VSG presentando configuraciones de 6, 8, 12 y 16 cilindros, estos son utilizados en distintas aplicaciones como compresión de gas, motores de bombas y generadores de energía en campos petroleros.

Los motores Waukesha poseen sistemas naturalmente aspirados, turbo cargados con intercooler, según los requerimientos. Actualmente los equipos poseen una versión mejorada en su sistema ESM engine control system, el cual incluye elementos como la regulación de la sincronización, la velocidad del turbo compresor, parada del equipo, detección de detonación, herramientas de diagnóstico, registros entre otros.

Los primeros motores desarrollados por la marca son los VHP (Very High Power) se han desarrollado a producción a mediados de 1960, actualmente existen más de 20000 motores VHP alrededor del mundo, y se está actualizando constantemente esta gama de motores. A partir del 2005, en su cuarta serie, se implementó su sistema de control ESM.

3.1.3. Generación Jenbacher



Figura 3-3 Generación motores Jenbacher
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

La generación Jenbacher se realiza en motores alternativos de combustión interna alimentados a gas cuya potencia de generación va desde 0,3 a 4.4 MW. Estos equipos han sido diseñados para ser usados con distintos tipos de gas como gas natural, biogás, gases residuales y gas asociado a la producción de petróleo. Las aplicaciones de estos equipos van desde conjuntos generadores hasta usos en ciclos de cogeneración de energía, mostrados en la Figura 3-3.

Jenbacher posee su sistema de control de combustión patentado LEANOX, el cual garantiza una correcta mezcla aire/combustible bajo todas sus condiciones operativas, así minimizando las emisiones de y manteniendo la operación estable.

La combinación del LEANOX con el mezclador de gas, permite manejar fluctuaciones en el poder calorífico. Los Motores Jenbacher no solo son conocidos por manejar valores extremadamente bajos de poder calorífico bajo número de metano, sino que además maneja con un alto valor calorífico.

3.1.4. Generación Wartsila



Figura 4-3 Generación motores Wartsila

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

La generación Wartsila se la realiza a partir de crudo, diésel o dúplex, mediante unos motores de velocidad baja y media diseñado para combustibles pesados con potencias de 4, 7, 9 y 17 MW. Los equipos Wartsila son únicos porque estos tienen dos diferentes tipos de inyección de combustible para su encendido tanto como para compresión, como para chispa, mostrados en la Figura 4-3.

Wartsila son promovedores líderes a nivel mundial en generación centralizada, brindando flexibilidad en el uso de combustibles, teniendo un rango de plantas instaladas entre 4-500 MW, teniendo a nivel mundial una potencia instalada de 47GW.

La flexibilidad en el uso de los combustibles permite cambiar instantáneamente el combustible, mientras se mantiene su completa carga y alta eficiencia, esto provee una ventaja clave sobre turbinas a gas.

Los generadores se operan con equipos auxiliares para el tratamiento del combustible previo a la inyección, así como tratamiento del aceite, sistemas de aire comprimido, refrigeración del motor entre otros.

3.2. Gestión de mejora continua

En la actualidad se ha conformado un grupo multidisciplinario a fin de analizar los eventos que han provocado de alguna manera perdida a la producción, estos análisis son liderados por el área de Mantenimiento como parte de la preparación de los profesionales de esta área, estos análisis se los realiza en reuniones cada vez que se tienen este tipo de eventos y registrados en el sistema que es el soporte del área de mantenimiento y es el sistema MAXIMO, desarrollado por IBM, y adquirido por PAM.

Bajo esta plataforma se registran los fallos funcionales evidenciados a través de ACR, y estos valores tabulados y acumulados para el cálculo posterior utilizando las técnicas de análisis que se requieran, como cálculo de la Mantenibilidad, Confiabilidad, etc.

3.2.1. Indicadores de Mantenimiento actuales

Como parte fundamental del proceso llevado a cabo para la producción del campo, los indicadores tienen por objeto mostrar los factores que inciden directamente en los costos, tanto de producción como de mantenimiento; cayendo dentro estos indicadores el desempeño de la maquinaria existente de generación que también influye de manera representativa en el costo por barril, dentro de lo que constituye parte del análisis financiero y dentro de mantenimiento, el análisis de los tipos de mantenimiento, ordenes de trabajo, presupuestos, perdidas, eficiencia, entre otros.

Los indicadores de Mantenimiento en la actualidad con los que se controlan las actividades de la Gestión de Mantenimiento y de Control Estatal son los siguientes:

- Pérdidas de Producción por shutdown de generación (BBLS), donde el Objetivo es tener pérdidas menores a 10000 barriles en el año.
- Cumplimiento de presupuestos de costos y gastos
- Costo de Mantenimiento por barril.
- Análisis de backlog de Ordenes Trabajo (%).
- Porcentaje de mantenimiento Proactivo (%).
- Eficiencia de la Generación con crudo (kWh/gal).
- Eficiencia de la Generación con diésel (kWh/gal).
- Eficiencia de la Generación a gas (kWh/MSCF).
- Porcentaje de utilización de equipos de Generación Aislados (%), >55.
- Porcentaje de utilización de equipos de Generación Centralizada (%).
- Disponibilidad Operativa de Planta (%).
- Índice de accidentabilidad.
- Cumplimiento del Plan de Inspección de Integridad de Ductos (%).
- Cumplimiento del Plan de Emisiones al aire de Fuentes Fijas (%).

3.2.2. Datos Correctivos. (Maximo)

En la tabla 2-3, se tiene el resumen de cantidades registradas por equipos dentro del sistema de generación.

Tabla 2-3. Fallos en Sistemas de Generación CPF.

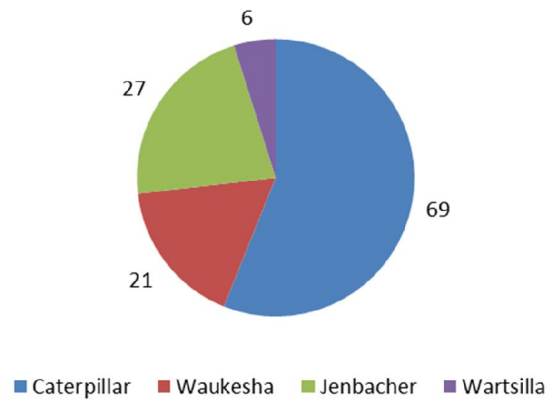
Tipo de Equipo	Tipo de Combustible	TAG de Equipos de Generación	Número de fallos
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Diesel	CAT MOTOR WAGNER MG-W13 POWER TRAILER [CPF]	15
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Diesel	CAT MOTOR MG601-2 [CPF]	10
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Diesel	CAT MOTOR MG601-4 [CPF]	15
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Diesel	CAT MOTOR MG521-4 [CPF]	14
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Diesel	CAT MOTOR MG101-1 [CPF]	15
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	MOTOR WAUKESHA MG301-3 [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	MOTOR WAUKESHA MG101-9G [CPF]	4
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	MOTOR WAUKESHA MG-102G [CPF]	6
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	MOTOR WAUKESHA MG-103G [CPF]	8
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100A [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100B [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100C [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100D [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100E [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100F [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100G [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100H [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Gas	JENBACHER GAS ENGINE MG-100I [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Crudo	WARTSILLA GENERATOR ENGINE MG-BAG021 [CPF]	3
MOTOR DE COMBUSTIÓN	Crudo	WARTSILLA GENERATOR ENGINE MG-BAG011 [CPF]	3
GENERADOR	Diesel	CAT GENERATOR GG101-2D [CPF]	0
GENERADOR	Diesel	CAT GENERATOR GG-W13 [CPF]	0
GENERADOR	Diesel	CAT ELECTRIC GENERATOR GG101-1 [CPF]	1

GENERADOR	Diesel	CAT GENERATOR GG101-4D [CPF]	1
GENERADOR	Diesel	CAT ELECTRIC GENERATOR GG101-5D [CPF]	1
GENERADOR	Gas	GENERATOR GG-102G [CPF]	0
GENERADOR	Gas	GENERATOR GG-103G [CPF]	0
GENERADOR	Gas	GENERATOR GG301-3 [CPF]	0
GENERADOR	Gas	GENERATOR GG101-9G [CPF]	0
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100A [CPF]	3
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100B [CPF]	4
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100C [CPF]	3
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100D [CPF]	5
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100E [CPF]	1
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100F [CPF]	4
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100G [CPF]	0
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100H [CPF]	0
GENERADOR	Gas	CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100I [CPF]	0
GENERADOR	Crudo	WARTSILLA SYNCHRONOUS GENERATOR GG- ENG021 [CPF]	2
GENERADOR	Crudo	WARTSILLA SYNCHRONOUS GENERATOR GG- ENG011 [CPF]	2

Elaborado por: Benítez Iván, 2015

En el Figura 5-3 se indican los fallos de los motores de combustión de las 4 generaciones e indican claramente, hay que considerar que la generación Caterpillar posee el mayor número debido a que históricamente era la generación desde el inicio de la operación, y la Wartsila la menor cantidad ya que es la planta más reciente en funcionamiento.

Motores de Combustión



Generadores

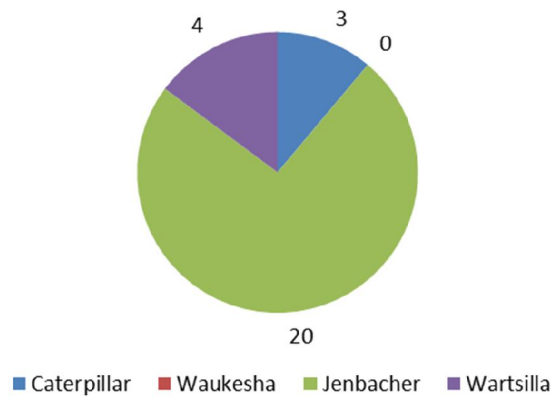


Figura 5-3 Cantidad de fallos de las cuatro generaciones
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3. RCM

Con su siglas en inglés, o Mantenimiento Basado en Confiabilidad es la herramienta que se usa para la optimización de las rutinas de mantenimiento a fin de mantener la Confiabilidad, Disponibilidad de la maquinaria, en este caso de las Generaciones de Energía del Bloque 15 y no producir Perdidas de Producción en las Operaciones en General incluidas las instalaciones donde se exporta la Energía.

3.3.1 Jerarquización de subsistemas y equipos

El bloque 15 ha cambiado su matriz energética desde hace un año atrás, incorporando en la generación de energía, 2 Moto-Generadores alimentados por crudo, con una capacidad de 15 MW. La incorporación de estas unidades ha representado el montaje de una nueva planta de generación debido a la magnitud de los equipos y los sistemas requeridos para el funcionamiento, y sumando a la generación a gas ya existente, se ha centralizado el monitoreo y control.

La Jerarquización de Activos se ha desarrollado en Petroamazonas EP como estrategia para evaluar el impacto de fallos en los equipos de los distintos sistemas que involucra la operación. Esta herramienta define un índice de criticidad, que determinará cuán crítico es un activo dentro de su sistema.

Como metodología, se cuantifica el índice de criticidad utilizando una matriz, la misma que ha sido modificada para ponderar el riesgo basado en la probabilidad de un fallo (Ocurrencia), las horas de operación al día (Exposición), y la ponderación de las posibles Consecuencias.

Se ha establecido el índice de criticidad para las distintas islas de producción, plantas de proceso, generación remota y reinyección de agua incluyendo sus correspondientes sistemas y equipos.

Debido al gran aporte y requerimiento de energía en las operaciones del bloque, se ha desarrollado la Jerarquización de la nueva central de generación, los principales sistemas que interactúan se evalúan separando en los subsistemas correspondientes hasta los equipos que los conforman. Los subsistemas considerados son los siguientes:

- Sistema de Combustible
- Sistema de Lubricación
- Sistema de Admisión y Escape
- Sistema de Refrigeración
- Sistema de Transmisión de Energía
- Sistema de Control
- Sistemas Auxiliares

3.3.2. Matriz de Jerarquización.

Petroamazonas EP ha establecido un índice de criticidad que encasilla a una categoría que define la criticidad de los equipos en la operación, dicho índice es calculado utilizando una modificación del método de W. T. Fine.

El desarrollo de esta matriz se basa en el cálculo del nivel de riesgo, considerando la probabilidad compuesta de dos factores, ocurrencia y exposición, y para el cálculo de la consecuencia, la sumatoria que las consecuencias en diferentes áreas de impacto según el contexto.

$$Riesgo = \textbf{Probabilidad} \times \textit{Consecuencia}$$

$$\textit{Indice de Criticidad} = \textit{Ocurrencia} \times \textit{Exposición} \times \sum \textit{Consecuencias}$$

3.3.2.1. Probabilidad

Para la estimación de la probabilidad se considerará la ocurrencia y exposición, estos factores serán evaluados según su operación normal, y ponderados para cada rango de medición. Al final se multiplican las ponderaciones y se obtiene el valor de cuan probable es que exista un evento en dicho equipo.

3.3.2.2. Ocurrencia

Con base en el tiempo de operación de los equipos y la cantidad de fallos que han tenido, se ha establecido como parámetro de medición el MTBF (Tiempo medio entre fallas), cuyas condicionantes conllevan a una clasificación y ponderación respectiva.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de Operación}}{\textit{Número total de fallas}}$$

La tabla 3-3 muestra la ponderación asignada al factor de ocurrencia, que va desde tiempo medio entre falla de 12 días, a 360 días, correspondiendo a una calificación de 1 hasta 10 respectivamente.

Tabla 3-3 Ponderación de Ocurrencia según MTBF.

OCURRENCIA		
Probable	$30 \geq MTBF$ 12 o más fpy	10
Ocasional	$90 \geq MTBF > 30$ 4 a 11 fpy	8
Rara	$180 \geq MTBF > 90$ 2 a 3 fpy	5
Remota	$360 > MTBF \geq 180$ 1 fpy	3
Mínima	$MTBF > 360$ DIAS (menos de una falla por año fpy)	1

Fuente.- Bloque 15 PAM

3.3.2.3. Exposición

Según las condiciones de operación diaria del equipo en análisis, se pondera este factor. Considerando desde un tiempo menor a 5 horas diarias, hasta el uso de las 24 horas del día, se ha establecido correspondientes valores, resumidos en la tabla 4-3.

Tabla 4-3 Ponderación de exposición.

EXPOSICIÓN	
20 - 24 h	10
15 - 20 h	6
10 - 15 h	3
5 - 10 h	2
< 5 h	1

Fuente.- Bloque 15 PAM.

3.3.2.4. Consecuencias

Este factor representa el impacto que podría llegar a tener un evento en distintas áreas que han sido consideradas según el entorno. Según el nivel de riesgo, existen distintas consecuencias cuyas proporciones se analizan en el desarrollo de la matriz. Las áreas de impacto son las siguientes:

- Seguridad y Salud
- Medio Ambiente
- Pérdidas de Producción / Energía, costos de mantenimiento

Las áreas contempladas para este análisis poseen distintos grados de consecuencia, la mayor ponderación (60%) criticidad se centra en Salud y Seguridad junto con el impacto al Medio Ambiente, seguidos un 25% para pérdidas de producción o de generación de energía, y finalmente 15% para las consecuencias en costos por mantenimiento. A continuación en la tabla 5-3 se resume las evaluaciones consideradas en las consecuencias según el área de interés.

Tabla 5-3 Ponderación de consecuencias.

CONSECUENCIAS		
Disciplina	Ponderación	Consideraciones
Seguridad y Salud	30%	Muerte
		Accidente con pérdida de tiempo
		Lesión sin pérdida de tiempo
		Incidente
		Condición sub-estándar
Medio Ambiente	30%	Muy significativo: <i>Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones y en cuerpos de agua</i>
		Significativo: <i>Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones con contacto en tierra</i>
		Importante: <i>Derrame mayor a 5 bbls dentro de las locaciones</i>
		Leve: <i>Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones</i>
		Insignificante: <i>leak</i>
Mantenimiento	25%	> USD\$ 500000,00
		USD\$ 100000,01 – 500000,00
		USD\$ 50000,01 – 100000,00
		USD\$ 10000,01 - 50000,00
		USD\$ 0,00 - 10000,00
Pérdida Energía (PE) Planta Generación	15%	80% < PE ≤ 100%
		60% < PE ≤ 80%
		40% < PE ≤ 60%
		20% < PE ≤ 40%
		0% ≤ PE ≤ 20%

Fuente.- Bloque 15 PAM.

Las consecuencias han sido estandarizadas para todos los activos de Petroamazonas y son analizadas con un equipo multidisciplinario que intervienen en la operación que son:

- Supervisor de Seguridad Salud y Ambiente
- Supervisor de Planta de Procesos
- Supervisor de Islas de Producción
- Supervisor de Generación
- Supervisor de Mantenimiento Mecánico
- Supervisor de Mantenimiento Eléctrico
- Supervisor de Mantenimiento de Instrumentación
- Supervisor de Mantenimiento Predictivo
- Coordinador de Mantenimiento

3.3.2.5. Grupo de implementación

Se determina el grupo de RCM considerando un equipo multidisciplinario que interviene en las decisiones Operativas como de mantenimiento, expresada en la tabla 6-3.

El Anexo F evidencia la conformación de este grupo, el mismo que participa en la implementación inicial del desarrollo de la investigación de cambios en las rutinas de mantenimiento.

Tabla 6-3 Grupo de implementación

PERFIL	FUNCION
INGENIERO ELECTRICO	SUPERINTENDENTE DE MANTENIMIENTO
INGENIERO ELECTRICO	SUPERVISOR DE GENERACION
INGENIERO INDUSTRIAL	SUPERVISOR MECANICO
INGENIERO ELECTRICO	SUPERVISOR ELECTRICO
PROCESOS	SUPERVISOR DE OPERACIONES
PROCESOS	SUPERVISOR DE PLANTA
INGENIERO ELECTRONICO	TECNICO DE INSTRUMENTACION
INGENIERO ELECTRONICO	TECNICO ELECTRICO
INGENIERO INDUSTRIAL	ESPECIALISTA DE SEGURIDAD
INGENIERO MECANICO	INGENIERO PREDICTIVO
INGENIERO ELECTRONICO	SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION
INGENIERO MECANICO	TECNICO MECANICO

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.2.6 Características del Grupo de implementación:

La formación del grupo multidisciplinario juega un factor determinante para tener la confianza de que se implementen los cambios necesarios, y los mismos den resultados a corto plazo luego de que se implanten los cambios necesarios.

Primordialmente la formación del personal es de ingenieros en las áreas eléctrica, mecánica, electrónica y de procesos, por lo que se abarcan todos los aspectos técnicos que involucran la administración de los sistemas de generación en los cuales están involucrados.

Dentro de las dificultades, la coyuntura de política económica del país, así como mundial ha incidido en la reestructuración de las empresas y por obvias razones las de las estructuras del organigrama, bajo este aspecto se ha tenido el cambio de al menos 6 funcionarios que estuvieron en estos cargos.

Constituyéndose en un fenómeno digno de ser tomado en cuenta en cualquier estructura, sin embargo luego de varios meses se ha logrado el tener nuevamente una organización bien establecida para la toma de decisiones y análisis necesarios, a fin de evitar los retrasos evidenciados.

Contamos como aciertos el haber establecido Facilitadores a personal que tiene claro el uso del RCM, tales como son los ingenieros del área de mantenimiento predictivo y de la área

mecánica que junto con la preparación en las aulas han complementado los conocimientos para este reto.

El Departamento de Mantenimiento liderará estas implementaciones por las implicaciones y relación directa con la maquinaria utilizada, se realizarán actividades reactivas como se constituye el análisis causa raíz y la solución de problemas, así como las actividades proactivas con el RCM, bajo el análisis funcional y análisis de criticidad de equipos.

Como facilitadores tenemos varios líderes que cumplen con las características que pide la implementación del RCM, como discernir en la técnicas a implantarse, dirección de las reuniones, administración de tiempos, hacer comprender plenamente cada paso antes de su ejecución, seleccionar el nivel de análisis, estimar el impacto, el alcance, asegurar el orden de la implantación, asegurar que el proyecto cumpla dentro de lo planificado con un margen de error aceptable, coordinación de obtención de plan de apoyo, información de avances, etc. A fin de no perder la continuidad por los turnos de trabajo del campo que son de 14 días de trabajo y 14 días de descanso.

De no ser posible reunir todo el equipo multidisciplinario se toma en cuenta el realizar reuniones de trabajo por especialidades en el que estará presente un miembro de Operaciones por lo menos, el facilitador deberá preparar una agenda en la que los objetivos se cumplan y sean verificados al final de la misma.

Sobre la Dinámica con los colaboradores en la implantación se ha escogido personal que está inmerso dentro de la Gestión de Mantenimiento, de conseguir los objetivos y plasmarlos en los informes respectivos de no pérdidas de producción por causas de no implementaciones de tareas, todos con una muy buena predisposición y creativos.

La tabla 6-3 mostrada en la sección anterior, indica en resumen la matriz considerando los distintos niveles y perfiles, así como su respectivo equivalente. Para evaluar el impacto para pérdidas, la matriz se utiliza según corresponda únicamente una categoría, ya sea planta, energía o islas.

3.3.2.7. Índice de Criticidad

Al finalizar la evaluación de los distintos posibles riesgos y la probabilidad, se procede a cuantificar el índice de criticidad y a ubicarlo al mismo dentro de la categoría establecida por la empresa. Además con el índice de criticidad ya conocido, se ubica dentro de las categorías que se han establecido con su respectiva clasificación del activo. Petroamazonas tiene predefinidas las estrategias y filosofías de mantenimiento según la clasificación del activo que podrían ser aplicadas, analizando su impacto en el ciclo de vida del equipo. La tabla 7-3 muestra un resumen del correspondiente Índice de Criticidad (CrI) y su correspondiente categoría y clasificación.

Tabla 7-3 Clasificación de activos

CRITICIDAD CrI		CATEGORÍA DE CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN	ESTRATEGIAS Y FILOSOFÍAS DE MNT
Intolerable	> 400	A	Activo Crítico	Análisis FMEA, mantenimiento basado en condición y preventivo; con relevamiento de información muy detallada. Se realizará análisis de falla ACR-P/D/I en todos los casos, según procedimiento. Se llevará un seguimiento mediante indicadores KPI específicos.
Alto	200-400	B	Activo Importante	Aplicación de mantenimiento basado en condición y preventivo, con relevamiento de información completa. Se realizará análisis de falla ACR en los casos relevantes de acuerdo a procedimiento. Se llevará un seguimiento mediante indicadores KPI generales únicamente.
Notable	71-200			
Moderado	21-70	C	Activo Normal	Estrategia de mantenimiento preventivo o RTF, con relevamiento de información básica. Se realizará análisis de falla ACR sólo en casos muy específicos. Se llevará un seguimiento mediante indicadores KPI generales únicamente.
Aceptable	< 20			

Fuente.- Bloque 15 PAM.

De igual manera en la tabla 8-3, se muestra un resumen de la ponderación de la probabilidad por las consecuencias que pueden darse en las áreas importantes dentro de la operación y de acuerdo a su importancia son Seguridad y Salud, Medio Ambiente, Mantenimiento.

La más importante por la seguridad del personal SEGURIDAD Y SALUD esta ponderada sobre 30, siendo 30 la ocurrencia de muerte, 15 accidente con pérdida de tiempo, 8 lesión sin pérdida de tiempo, 5 incidente, 2 condición sub estándar. Las consecuencias por afectación al MEDIO AMBIENTE esta ponderada sobre 30, siendo 30 muy significativo con un derrame

mayor a 5 barriles fuera de locaciones y en cuerpos de agua, 15 significativo con un derrame mayor a 5 barriles fuera de locaciones con contacto en tierra, 8 importante con un derrame mayor a 5 barriles dentro de locaciones, 5 leve con un derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones, 2 insignificante producido por goteos dentro de la locación.

La ponderación y consecuencias con respecto a MANTENIMIENTO esta expresada sobre 15, siendo 15 daños mayores a \$500000, 8 daños entre \$500000 y \$100000.01, 4 daños entre \$50000.01 y \$10000.00, 2 daños entre \$10000.01 y \$ 50000, 1 daños entre 0 y \$10000. Dentro de las cuales también se consideran tres factores preponderantes:

- Pérdida de producción total de la Planta de Producción. Ponderadas sobre 25, considerada 25 a la pérdida entre el 100% y el 80%, considerada 10 a la pérdida entre el 80% y el 60%, considerada 5 a la pérdida entre el 60% y 40%, considerada 3 a la pérdida entre el 40% y el 20%, considerada 2 a la pérdida entre 20% y el 0% en todos los casos referidas a energía que afecte el proceso de la planta.

- Pérdida de energía de la Planta de Generación. Se pondera sobre 25, considerada 25 a la pérdida entre el 100% y 80%, considerada 10 a la pérdida entre el 80% y el 60% , considerada 5 a la pérdida entre el 60% y 40%, considerada 3 a la pérdida entre el 40% y el 20%, considerada 2 a la pérdida entre 20% y el 0% en estos casos referidas directamente a la pérdida directa de energía de la Planta de Generación.

- Pérdida de Producción de Islas. En esta ponderación se refiere directamente a la pérdida de barriles de crudo en las Islas de Producción expresadas cantidades de barriles de pérdidas. Se pondera sobre 25, considerada 25 a la pérdida de 410 barriles y más, considerada 10 a la pérdida entre 340 barriles y menores o iguales a 410 barriles, considerada 5 a la pérdida entre 270 barriles y menores o iguales a 340 barriles, considerada 3 a la pérdida entre 200 y menor o igual a 270 barriles, considerada 2 a la pérdida entre 0 y 200 barriles.

Esta última clasificación en la ponderación de pérdidas expresada en barriles, es en realidad la gran preocupación evitar, para lo cual se suman esfuerzos, tal es el caso de la presente investigación, para que sirva de base y en el futuro se lleguen a analizar todos los elementos que intervienen en los procesos, tanto de generación eléctrica como de producción.

Tabla 8-3 Matriz de Probabilidad por Consecuencia.

PROBABILIDAD					CONSECUENCIAS										
OCURRENCIA			EXPOSICIÓN		SEGURIDAD Y SALUD		MEDIO AMBIENTE			MNT		PÉRDIDA ENERGÍA PLANTA GENERACIÓN		PÉRDIDAS DE PROD. ISLAS	
Probable	30 ≥ MTBF 12 o más fpy	10	20 - 24 h	10	Muerte	30	Muy significativo	Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones y en cuerpos de agua	30	> USD\$ 500000,00	15	80% < PE ≤ 100%	25	410 < BPD	25
Ocasional	90 ≥ MTBF > 30 4 a 11 fpy	8	15 - 20 h	6	Accidente con pérdida de tiempo	15	Significativo	Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones con contacto en tierra	15	USD\$ 100000,01 – 500000,00	8	60% < PE ≤ 80%	10	340 < BPD ≤ 410	10
Rara	180 ≥ MTBF > 90 2 a 3 fpy	5	10 - 15 h	3	Lesión sin pérdida de tiempo	8	Importante	Derrame mayor a 5 bbls dentro de las locaciones	8	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	40% < PE ≤ 60%	5	270 < BPD ≤ 340	5
Remota	360 > MTBF ≥ 180 DÍAS 1 fpy	3	5 - 10 h	2	Incidente	5	Leve	Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones	5	USD\$ 10000,01 - 50000,00	2	20% < PE ≤ 40%	3	200 < BPD ≤ 270	3
Mínima	MTBF > 360 DIAS (menos de una falla por año fpy)	1	< 5 h	1	Condición subestándar	2	Insignificante	leak	2	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	0% ≤ PE ≤ 20%	2	BPD ≤ 200	2

Fuente.- Bloque 15 PAM.

3.3.3. Determinación de elementos críticos.

Para la determinación de activos críticos se han tomado 2 grupos de equipos de generación, el primer grupo corresponde a los equipos, Waukesha, Jenbacher considerados para el presente trabajo como equipos de apoyo; más la generación a diésel Caterpillar considerada como reserva fría.

En el segundo grupo se considera la generación Wartsila pos ser la fundamental en la presente investigación y a la cual se dedicará los esfuerzos a fin de que se mantenga robusta como ya se ha manifestado a lo largo del presente trabajo.

Bajo este esquema en la tabla 9-3 se indica la obtención de la probabilidad de fallos con base a su historial, tomando en cuenta los 5 primeros motores de combustión Caterpillar, seguidos de 4 motores Waukesha y a continuación 9 motores Jenbacher que serán analizados bajo los parámetros de registro a lo largo de su aporte a la producción de CPF, y registrados en el sistema Maximo.

Estos factores son:

- Número de fallos
- MTBF: Tiempo medio entre fallos (en días)
- Fallos por año

La ocurrencia que está dada por los factores explicados y que dan los grados de ponderación, y que muestra como Rara, Mínima, Remota de acuerdo a los datos evidenciados en el sistema gestión del mantenimiento Maximo.

Y la Exposición de acuerdo a las horas de funcionamiento que tiene cada unidad durante el día. Bajo todas estas consideraciones la hoja de cálculo diseñada para los activos de PAM califica todas las ponderaciones expresadas hasta llegar a definir los activos críticos de acuerdo a como se ha explicado anteriormente, hasta que determinará y emitirá el grado de criticidad, en base a la cual se tomarán las medidas necesarias para optimizar las rutinas de mantenimiento necesarias y evitar fallos de los sistemas en esta caso de las áreas de generación eléctricas de las instalaciones del CPF.

No todos los resultados son iguales, lo cual hace reflexionar ante el hecho que deberán realizar los ajustes necesarios de acuerdo a los resultados obtenidos, y es aquí donde radica la importancia de la interpretación adecuada de los profesionales involucrados en las tareas de mantenimiento así como su preparación y discernimiento tales que sean acertados y proactivos dentro de la operación.

Tabla 9-3 Determinación de activos críticos: Probabilidad: Ocurrencia y Exposición

Descripción	No. Fallas	MTBF (DIAS)	FALLAS POR AÑO	OCURRENCIA Oc	EXPOSICIÓN Exp
MAIN POWER					
ROTATING (COMBUSTION ENGINES)					
MOTOR WAGNER MG-W13 POWER TRAILER [CPF]	15	97.333	3.75	Rara	5 < 5 h 1
MOTOR MG601-2 [CPF]	10	146	2.50	Rara	5 < 5 h 1
MOTOR MG601-4 [CPF]	15	97.333	3.75	Rara	5 < 5 h 1
MOTOR MG521-4 [CPF]	14	104.29	3.50	Rara	5 < 5 h 1
MOTOR MG101-1 [CPF]	15	97.333	3.75	Rara	5 < 5 h 1
MOTOR WAUKESHA MG301-3 [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
MOTOR WAUKESHA MG101-9G [CPF]	4	365	1.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
MOTOR WAUKESHA MG-102G [CPF]	6	243.33	1.50	Remota	3 20 - 24 h 10
MOTOR WAUKESHA MG-103G [CPF]	8	182.5	2.00	Remota	3 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100A [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100B [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100C [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100D [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100E [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100F [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100G [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100H [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
JENBACHER GAS ENGINE MG-100I [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
ROTATING (ELECTRIC GENERATORS)					
GENERATOR GG101-2D [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 < 5 h 1
GENERATOR GG-W13 [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 < 5 h 1
ELECTRIC GENERATOR GG101-1 [CPF]	1	1460	0.25	Mínima	1 < 5 h 1
GENERATOR GG101-4D [CPF]	1	1460	0.25	Mínima	1 < 5 h 1
ELECTRIC GENERATOR GG101-5D [CPF]	1	1460	0.25	Mínima	1 < 5 h 1
GENERATOR GG-102G [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
GENERATOR GG-103G [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
GENERATOR GG301-3 [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
GENERATOR GG101-9G [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100A [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100B [CPF]	4	365	1.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100C [CPF]	3	486.67	0.75	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100D [CPF]	5	292	1.25	Remota	3 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100E [CPF]	1	1460	0.25	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100F [CPF]	4	365	1.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100G [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100H [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 20 - 24 h 10
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100I [CPF]	0	1460	0.00	Mínima	1 20 - 24 h 10

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

En la segunda parte de los activos en estudio será considerada la Generación Wartsila que como se ha manifestado es la fundamental dentro de la operación, y la cual se centrarán todos los esfuerzos necesarios para que se mantenga en correcto funcionamiento, sin descuidar que reciban las rutinas de mantenimiento adecuadas y no sufran deterioro acelerado de sus componentes.

Hay que tomar en cuenta que es una planta relativamente joven, por este motivo no cuenta con datos en la cantidad que se requeriría para realizar un adecuado análisis, sin embargo, los datos se irán incrementando a través del tiempo de funcionamiento de la misma permitiendo ir haciendo ajustes que mantendrán su Confiabilidad y Mantenibilidad.

En la tabla 10-3 se enfocan los componentes a ser analizados, y que han sido escogidos por su importancia dentro del sistema de generación, donde se puede ver su ocurrencia y exposición de acuerdo a los factores establecidos como en el caso anterior.

Estos factores son:

- Número de fallos
 - MTBF Tiempo medio entre fallos (en días)
 - Fallos por año
 - Ocurrencia que está dada por los factores explicados y que dan los grados de ponderación, y que indican como Rara, Mínima, Remota de acuerdo a los datos registrados del Maximo.
-
- La Exposición de acuerdo a las horas de funcionamiento que tiene cada unidad durante el día.

Con estos datos se obtiene tasas de ocurrencia de Remotos, con exposiciones de 24 horas de funcionamiento continuo. Hay que tomar en cuenta que acorde como se sigue avanzando en la aplicación de estos datos, se evidenciará resultados que, indican la existencia en todos los casos de redundancia en los sistemas, que irán minimizando la criticidad de los activos; no queriendo decir por ello que no se deban tomar medidas a fin de desarrollar de la mejor manera los estudios necesarios para optimizar más aun las rutinas de mantenimiento.

Tabla 10-3 Determinación de activos críticos Planta Wartsila – Probabilidad: Ocurrencia y Exposición

MAIN POWER							
GENERATOR ENGINE MG-BAG021 [CPF]	3	182.5	2.00	Remota	3	20 - 24 h	10
GENERATOR ENGINE MG-BAG011 [CPF]	3	182.5	2.00	Remota	3	20 - 24 h	10
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG021 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	20 - 24 h	10
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	20 - 24 h	10
BOOSTER UNIT							
PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D003 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	15 - 20 h	6
PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D004 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	15 - 20 h	6
CRO SEPARATOR UNIT							
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	15 - 20 h	6
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/2 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	15 - 20 h	6
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT							
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	< 5 h	1
LUBE OIL PUMP							
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	20 - 24 h	10
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE901 [CPF]	2	273.75	1.33	Remota	3	20 - 24 h	10

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.3.1. DETERMINACIÓN DE EQUIPOS CRITICOS: MOTORES GAS Y DIESEL – CONSECUENCIAS

Las consecuencias en los cuatro aspectos considerados en la presente investigación en la primera parte es decir en la Generación a Gas y Diésel, se expresan en Seguridad y Salud una calificación general de 6 que corresponde a un posible Incidente, evidenciados en la tabla 11-3.

En lo que se refiere a Medio Ambiente se evidencia también una calificación de 2 que equivale a un goteo Insignificante, todo esto en base a las ponderaciones que posee la matriz de Petroamazonas para el análisis que se está llevando a cabo.

Referente a mantenimiento podemos apreciar dos calificaciones evidentes, la de un valor de 8 que se refiere a costos que oscilarían entre \$100000 y \$500000, y una calificación de 4 que evidencia posible daños entre \$50000 y \$ 100000, siendo esta consecuencia una de las más importantes a ser tomadas en cuenta ya que los daños de estas magnitudes capaces de afectar seriamente a los presupuestos de una empresa.

Por último en lo que se refiere a Consecuencias por pérdidas de Producción se observan dos ponderaciones, de 11 la primera y 16 la segunda, en los dos casos estos valores evidencian pérdidas Sin Impacto, y es aquí donde nuevamente encontramos Generaciones que pueden absorber esas magnitudes de impactos, debido a la gran cantidad de redundancia que se encuentra instalada a lo largo de las cuatro Centrales de Generación.

Son las razones por las cuales al momento de querer calcular pérdidas en costo real por pérdida establecidas no es posible, ya que dicha redundancia en los equipos así como las tareas de mantenimiento si están haciendo posible la sustentación del Sistema de Generación, y que se quiere hacerlo aún más sólido para poder mantener al CPF como una central de producción que opera bajo un buen estándar de Confiabilidad haciendo rentable la Producción de Energía tanto para el consumo interno como el de exportación al SEIP, sustentando de esta manera a las otras Operaciones de Petroamazonas a las cuales estamos entregando 5 MW de energía.

Tabla 11-3 Determinación de activos críticos: Consecuencias

Descripción	EXPOSICIÓN	Y SEGURIDAD SALUD	MEDIO AMBIENTE	MANTENIMIENTO	PÉRDIDAS PRODUCCIÓN/ ENERGÍA	Σ CONSECUENCIAS
MAIN POWER						
ROTATING (COMBUSTION ENGINES)						
MOTOR WAGNER MG-W13 POWER TRAILER [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR MG601-2 [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR MG601-4 [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR MG521-4 [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR MG101-1 [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR WAUKESHA MG301-3 [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR WAUKESHA MG101-9G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR WAUKESHA MG-102G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
MOTOR WAUKESHA MG-103G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100A [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100B [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100C [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100D [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100E [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100F [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100H [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
JENBACHER GAS ENGINE MG-100I [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 100000,01 – 500000,00	8 Sin Impacto	0 15
ROTATING (ELECTRIC GENERATORS)						
GENERATOR GG101-2D [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
GENERATOR GG-W13 [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
ELECTRIC GENERATOR GG101-1 [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
GENERATOR GG101-4D [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
ELECTRIC GENERATOR GG101-5D [CPF]	1	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
GENERATOR GG-102G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
GENERATOR GG-103G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
GENERATOR GG301-3 [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
GENERATOR GG101-9G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100A [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100B [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100C [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100D [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100E [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100F [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100G [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100H [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100I [CPF]	10	Incidente	5 Insignificante (Leak)	2 USD\$ 50000,01 – 100000,00	4 Sin Impacto	0 11

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.3.2 DETERMINACIÓN DE CRITICOS PLANTA WARTSILA – CONSECUENCIAS

Las consecuencias establecidas para la Generación Wartsila se constituyen en una parte fundamental de la presente investigación ya que como se ha manifestado anteriormente por la importancia y al constituirse la Generación Principal al momento, y por estar entregando al Sistema 11 MW de energía se debe poner énfasis en todas las consecuencias que atañen a dicha Generación, en la tabla 12-3.

En las consecuencias de Seguridad y Salud en lo que se refiere a los Motores de Combustión tenemos una calificación de 5 que corresponde a un posible Incidente, en los Generadores se tiene una nota de 2 que indica una posible condición subestandar.

En las unidades Booster, en las Separadoras, en la unidad de Flushing, y bombas de Transferencia de aceite se tiene una calificación de 5, lo cual indica un posible incidente, todos estos elementos son fundamentales en el funcionamiento de los Generadores Wartsila, pero la consideración fundamental dentro de estos Sistemas es el de que cada uno de ellos tienen redundancia, evidenciando nuevamente una gran solidez dentro del Sistema.

En las consecuencias referentes al Medio Ambiente, referente a los motores, aplica 5 que determina un posible Leve derrame (menor a 5 barriles dentro de locaciones), en los Generadores se tiene 0 es decir sin impacto; en las unidades Booster una calificación de 2 que indican un posible goteo insignificante, en las Separadoras de Crudo se tiene una calificación de 5 que indica una posible Leve derrame (menor a 5 barriles dentro de locaciones), en la unidad de Flushing una calificación de 2 posible Insignificante goteo; por último las Bombas de Lubricación también con 2 posible Insignificante goteo.

En lo que se refiere a Mantenimiento aparecen valores en lo que concierne a los Motores de 4 que van desde \$50000.01 a \$100000, luego respecto a los Generadores 8 que indica posible daños entre \$100000.01 y \$500000, en la unidades Boosters una calificación de 1 que indican valore entre \$0.00 y \$10000; en la Separadoras de Crudo 4 comprende valores entre \$50000.01 y \$100000; en la Unidad de Flushing un valor de 1 que oscila entre \$0.00 y \$ 10000, en la Bombas de Lubricación una calificación de 4 que indican posibles daños entre \$50000.01 y \$100000.

Por último en lo referente a pérdidas de Producción de Energía tenemos calificaciones de 0 Sin Impacto, por lo indicado anteriormente, la redundancia de elementos dentro del Sistema de Generación es evidentemente la causa principal de que las calificaciones que se obtienen en las consecuencias sean tan benevolentes.

Tabla 12-3 Determinación de activos críticos Planta Wartsila: Consecuencias

Descripción	SEGURIDAD Y SALUD		MEDIO AMBIENTE		MANTENIMIENTO		PÉRDIDAS PRODUCCIÓN / ENERGÍA		Σ CONSECUENCIAS
MAIN POWER									
GENERATOR ENGINE MG-BAG021 [CPF]	Incidente	5	Leve (Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones)	5	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	Sin Impacto	0	14
GENERATOR ENGINE MG-BAG011 [CPF]	Incidente	5	Leve (Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones)	5	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	Sin Impacto	0	14
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG021 [CPF]	Condición subestándar	2	Sin Impacto (No aplica)	0	USD\$ 100000,01 – 500000,00	8	Sin Impacto	0	10
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	Condición subestándar	2	Sin Impacto (No aplica)	0	USD\$ 100000,01 – 500000,00	8	Sin Impacto	0	10
BOOSTER UNIT									
PUMP + MG-COUPLING P-PCA902-D003 [CPF]	Incidente	5	Insignificante (Leak)	2	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	Sin Impacto	0	8
PUMP + MG-COUPLING P-PCA902-D004 [CPF]	Incidente	5	Insignificante (Leak)	2	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	Sin Impacto	0	8
CRO SEPARATOR UNIT									
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	Incidente	5	Leve (Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones)	5	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	Sin Impacto	0	14
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/2 [CPF]	Incidente	5	Leve (Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones)	5	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	Sin Impacto	0	14
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT									
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	Incidente	5	Insignificante (Leak)	2	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	Sin Impacto	0	8
LUBE OIL PUMP									
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	Incidente	5	Insignificante (Leak)	2	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	Sin Impacto	0	11
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE901 [CPF]	Incidente	5	Insignificante (Leak)	2	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	Sin Impacto	0	11

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.3.3. EQUIPOS CRITICOS EN GENERACIONES A GAS Y DIESEL

Una vez establecidos los estudios sobre las cantidades de número de fallos, MTBF tiempo medio entre fallos, fallos por año, de los datos proporcionado por el Sistema que posee Petroamazonas para la administración del Mantenimiento que es el Maximo.

Se ha logrado establecer en base a la Ocurrencia y Exposición así como la obtención de las Consecuencias; todos estos datos a través de una hoja de cálculo adquirida por Petroamazonas EP para la determinación de sus activos críticos.

Finalmente el establecer el porcentaje de Probabilidad de fallos, el número de consecuencias (sumatoria), el Índice de Criticidad, y por último y hacia donde se llega finalmente, la Categoría de Criticidad.

Referente a los motores, la sumatoria de Consecuencias se establecen en 15, el porcentaje de la ocurrencia de la fallo en 10%, el producto de estos valores da como resultado el INDICE de CRITICIDAD, que en esta caso es 150 y da también la CATEGORIA DE CRITICIDAD que en esta caso es B. En los últimos motores se una variación de ocurrencia del fallo del 30%, por lo que se da una variación en el índice de criticidad que es de 450 y dando una CATEGORIA DE CRITICIDAD que es de A. En lo que se refiere a los Generadores, en los 5 primeros la sumatoria de Consecuencias es de 11, la probabilidad de Ocurrencia de 2 por lo que el índice de criticidad es de 22, arrojando una categoría de Criticidad de C.

En los restantes se obtienen calificaciones de Índice de Criticidad de 110 en su mayoría y una nota de 330, pero finalmente la determinación de la Categoría de Criticidad es de B.

En todos los casos se ve claramente el comportamiento de la sumatoria de las consecuencias, y cómo actúan con el porcentaje de la probabilidad de Fallo dando el resultado el Índice de Criticidad y la Categoría de Criticidad respectivamente, aportando a la obtención final de dicha Categoría, necesaria para la toma de decisiones en el estudio de los diferentes Sistemas que utilizan esta técnica, que en el caso de PAM se las utiliza en todos los activos de la empresa mientras se va determinando todos los ACTIVOS CRITICOS, todos estos resultados están en la tabla 13-3 a continuación citada.

Tabla 13-3 Equipos críticos en generaciones a gas y diésel

Descripción	% PROBABILIDAD DE FALLA PrF	Σ CONSECUENCIAS	INDICE DE CRITICIDAD CrI	CATEGORÍA DE CRITICIDAD
MAIN POWER				
ROTATING (COMBUSTION ENGINES)				
MOTOR WAGNER MG-W13 POWER TRAILER [CPF]	5	15	75	B
MOTOR MG601-2 [CPF]	5	15	75	B
MOTOR MG601-4 [CPF]	5	15	75	B
MOTOR MG521-4 [CPF]	5	15	75	B
MOTOR MG101-1 [CPF]	5	15	75	B
MOTOR WAUKESHA MG301-3 [CPF]	10	15	150	B
MOTOR WAUKESHA MG101-9G [CPF]	10	15	150	B
MOTOR WAUKESHA MG-102G [CPF]	6	15	90	B
MOTOR WAUKESHA MG-103G [CPF]	6	15	90	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100A [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100B [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100C [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100D [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100E [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100F [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100G [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100H [CPF]	10	15	150	B
JENBACHER GAS ENGINE MG-100I [CPF]	10	15	150	B
ROTATING (ELECTRIC GENERATORS)				
GENERATOR GG101-2D [CPF]	1	11	11	C
GENERATOR GG-W13 [CPF]	1	11	11	C
ELECTRIC GENERATOR GG101-1 [CPF]	1	11	11	C
GENERATOR GG101-4D [CPF]	1	11	11	C
ELECTRIC GENERATOR GG101-5D [CPF]	1	11	11	C
GENERATOR GG-102G [CPF]	10	11	110	B
GENERATOR GG-103G [CPF]	10	11	110	B
GENERATOR GG301-3 [CPF]	10	11	110	B
GENERATOR GG101-9G [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100A [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100B [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100C [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100D [CPF]	30	11	330	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100E [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100F [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100G [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100H [CPF]	10	11	110	B
CG JENBACHER GAS GENERATOR ENGINE UNIT MG-100I [CPF]	10	11	110	B

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.3.4. EQUIPOS CRITICOS EN GENERACIÓN WARTSILA

De manera análoga a la realizada en la sección anterior, en la tabla 14-3 se indican los resultados de criticidad para los equipos del sistema de generación Wartsila.

Tabla 14-3 Equipos críticos en generación Wartsila

Descripción	% PROBABILIDAD DE FALLA P/F	Σ CONSECUENCIAS	INDICE DE CRITICIDAD C _{rl}	CATEGORÍA DE CRITICIDAD
MAIN POWER				
GENERATOR ENGINE MG-BAG021 [CPF]	30	14	420	A
GENERATOR ENGINE MG-BAG011 [CPF]	30	14	420	A
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG021 [CPF]	30	10	300	B
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	30	10	300	B
BOOSTER UNIT				
BOOSTER UNIT PCA902-D003 [CPF]	18	8	144	B
BOOSTER UNIT PCA903-D004 [CPF]	18	8	144	B
CRO SEPARATOR UNIT				
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	18	14	252	B
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/2 [CPF]	18	14	252	B
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT				
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	3	8	24	C
LUBE OIL PUMP				
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	30	11	330	B
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE901 [CPF]	30	11	330	B

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Los resultados obtenidos en la Generación Wartsila marcan definitivamente los resultados para la continuación y desarrollo del presente trabajo considerado como ya se ha dicho anteriormente la Generación Principal al aportar actualmente al sistema 11 MW de energía continua.

De manera resumida en la tabla 15-3, se indican los TAGS y una pequeña descripción de los activos considerados en el presente estudio a ser tomados en cuenta por las funciones

específicas que tiene todos y cada uno de ellos en el funcionamiento de la Planta de Generación Wartsila en el CPF del Bloque 15.

Tabla 15-3 Equipos de Planta Wartsila

TAG	Descripción
MG-BAG021	GENERATOR ENGINE MG-BAG021 [CPF]
MG-BAG011	GENERATOR ENGINE MG-BAG011 [CPF]
GG-ENG021	SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG021 [CPF]
GG-ENG011	SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]
PCA902-D003	PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D003 [CPF]
PCA902-D004	PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D004 [CPF]
PBA901/1	CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]
PBA901/2	CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/2 [CPF]
PFC013	INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]
QAE902	LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]
QAE901	LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE901 [CPF]

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Se han considerado los sistemas que se indican a continuación por ser los que tienen mayor incidencia en el funcionamiento de la Planta de Generación, y que sin ellos no sería posible el funcionamiento de los activos principales que son el Motor de combustión interna y el Generador, estos son:

Unidades Booster, que son las unidades que mantienen con combustible al sistema.

PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D003 [CPF]
PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D004 [CPF]

Unidades Separadoras de Crudo, son unidades que se encargan de mantener al crudo sin impurezas, para ello lo centrifugan en el sistema.

CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/2 [CPF]

Unidad de Flushing, es una unidad que se encarga de circular diésel por el sistema de combustible de crudo cada cierto tiempo para mantener limpias las cañerías de combustible.

INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]

Unidades de lubricación, son bombas que se encargan de enviar el aceite lubricante al Sistema, luego de ser purificado en unidades de filtrado.

LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE901 [CPF]

Una vez establecidos estos componentes importantes dentro del Sistema de Generación principal se establece la determinación de sus activos críticos, se debe tomar en cuenta que el sistema tiene apenas un año de funcionamiento por lo que el registro de fallos no es muy representativo, sin embargo las directrices serán dadas inicialmente considerando estos valores.

Es así que la sumatoria de Consecuencias en los motores es de 14, el porcentaje de la Probabilidad de fallos de 30%, por lo que el INDICE DE CRITICIDAD es de 420 y una CATEGORIA DE CRITICIDAD de A.

En los Generadores la sumatoria de Consecuencias es 10, el porcentaje de Probabilidad de Fallo de 30%, el índice de criticidad por ende de 300, lo cual le da una Categoría de Criticidad de B.

En relación a las unidades booster, la sumatoria de consecuencias es de 10, la Probabilidad de fallos del 18%, dando un índice de criticidad de 144 y una Categoría de Criticidad de B.

Las separadoras de crudo una sumatoria de 14, una Probabilidad de fallo del 18 % por lo cual, el Índice de Criticidad de 252 y una Categoría de Criticidad de B.

La unidad de flushing, la sumatoria es de 8 la Probabilidad de fallo del 3%, el Índice de Criticidad de 24, dando una Categoría de C.

Respecto a las bombas de lubricación, la sumatoria es de 11, la Probabilidad de fallos del 30%, el valor de Índice de Criticidad 330 dando una Categoría de Criticidad de B.

3.3.3.5. Confiabilidad del sistema de sistema de Generación Wartsila

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema ejecute su función de intención sin fallar en un intervalo específico, y bajo las condiciones establecidas. También es denominada como función de supervivencia $R(t)$ es la probabilidad de sobrevivir hasta el tiempo t .

Existen numerosos modelos probabilísticos que se emplean para modelizar tiempos de duración de equipos, entre los más utilizados son:

- Modelo Exponencial
- Modelo Weibull
- Modelo Gamma
- Modelo Log normal

Cada modelo parte de una función de distribución de probabilidad (f.d.p.) que describe las posibles probabilidades, para un dominio determinado, en el caso de la confiabilidad de equipos, el dominio se da en el tiempo de vida que funcionará sin falla.

Los equipos que operan en la generación del CPF, se encuentran en condiciones de vida útil (tasa de fallos constantes), debido a que año a año el departamento de mantenimiento realiza una planificación de mantenimientos mayores, a fin de extender el tiempo de vida útil y no caer en la tasa de fallos acelerada de los equipos, ya que las probabilidades de fallos es alta, poniendo en riesgo la operación.

Como indicador de las condiciones actuales de la planta de generación Wartsila, se realizará un breve análisis del comportamiento de la confiabilidad de los equipos críticos ya establecidos, y que operan de manera continua soportando al sistema central constituido por los motores y generadores. Como parte de la ingeniería en fiabilidad. Se utilizan diferentes modelos probabilísticos que desarrollan una estimación de la probabilidad de fallo de distintos equipos, para este estudio se utiliza el **modelo exponencial**, debido a que los equipos se encuentran en periodo de vida útil, y por la limitante de los datos, al recalcar una vez más que la planta tiene 10.000 horas de operación continua. No se utiliza el modelo Weibull porque para esa aplicación se requiere uso de criterios de ingeniería almacenados en forma de base de datos, que detallen el modo de fallo para cada evento y resumido en la tabla 16-3 y graficada en la Figura 6-3. Para el caso de la función exponencial la confiabilidad $R(t)$ es:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\# \text{ fallas}}{t \text{ operacion}}$$

Tabla 16-3 Cálculo de confiabilidad a las 2000 horas

TAG	No. Fallas	TASA DE FALLOS	CONFIABILIDAD
		$\lambda = \frac{\# \text{ fallas}}{t \text{ operacion}}$	$R(t) = e^{-\lambda t}$
MG-BAG021	3	0.000228311	63.34%
MG-BAG011	3	0.000228311	63.34%
GG-ENG021	2	0.000152207	73.76%
GG-ENG011	2	0.000152207	73.76%
PCA902	2	0.000152207	73.76%
PBA901/1	2	0.000152207	73.76%
PBA901/2	2	0.000152207	73.76%
QAE902	2	0.000152207	73.76%
QAE901	2	0.000152207	73.76%

t	$\lambda = 0.0002283$	$\lambda = 0.0001522$	Sistema Wartsila
100	0.977	0.985	0.999
200	0.955	0.970	0.995
500	0.892	0.927	0.970
800	0.833	0.885	0.931
1,000	0.796	0.859	0.899
2,000	0.633	0.738	0.710
5,000	0.319	0.467	0.238
10,000	0.102	0.218	0.021

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

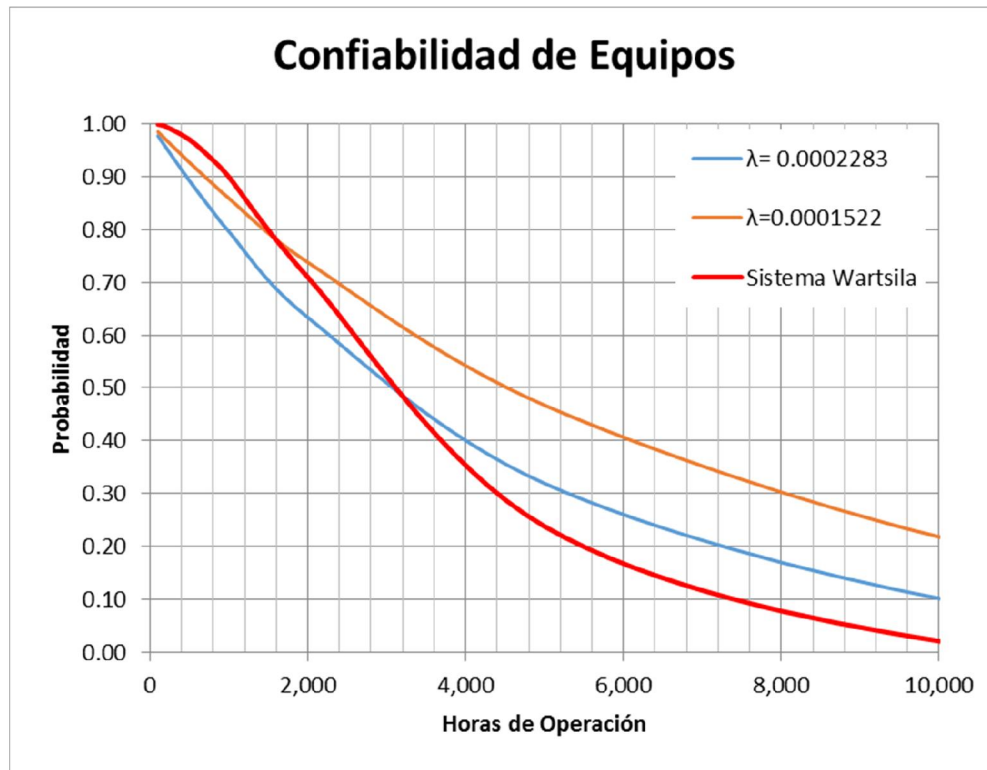


Figura 6-3 Cálculo de confiabilidad en el tiempo (horas)

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Considerando la configuración de los subsistemas en la generación Wartsila, se ha estimado que la confiabilidad del sistema a las 2000 horas es del 70%.

3.3.4 Guías y Protocolos.

Las guías y protocolos se crean con el fin de orientar de manera clara y concisa las implicaciones que se pueden dar bajo condiciones de Operación calificadas como normales, sin embargo sucedan casos fortuitos de condiciones anormales en la existencia de fallos de la maquinaria que debe cumplir con condicionantes de trabajo específico de diseño.

3.3.4.1. Mapas Causales. (Planes de acción)

Dentro de estas guías y protocolos también se incluyen los mapas causales que no son otra cosa que la descripción de un ACR para mejorar y simplificar el entendimiento y estar abreviada en una sola hoja que incluyen fotografías del equipo, problemas, soluciones, que manejadas de manera adecuada son de fácil rastreo por un número secuencial o localización por descripción dentro de los sistemas de administración de mantenimiento.

Step 1. Define the Problem

What

When

Where

Impact to the Goals

Problem(s)

Date

Time

Different, unusual, unique

Facility, site

Unit, area, equipment

Task being performed

Safety

Environmental

Customer Service

Regulatory

Production/ Schedule

Property/ Equipment

Labor/ Time

Frequency

Compresor y motor eléctrico se apaga

February 9, 2015

Inusual

CPF, Bloque 15 Petroamazonas EP

COM-107B, Generador

Compresión de Gas para generación

Sin afectación

Sin afectación

Baja Disponibilidad

Mantenimiento

Confiabilidad baja

24 h día

This incident

Annualized Cost

\$0

\$0

\$0

\$0

\$0

\$0




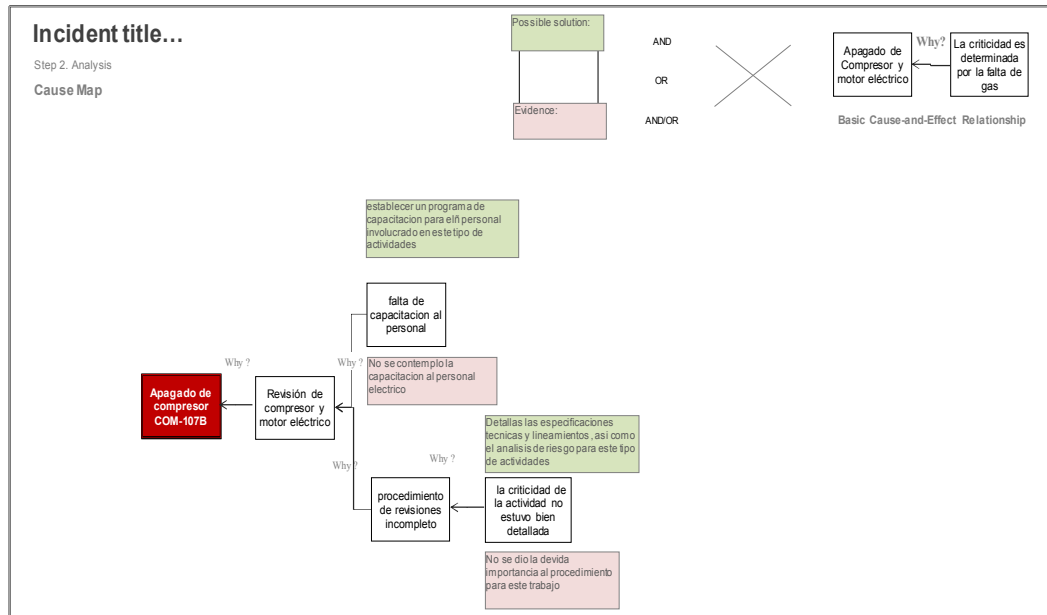


Figura 7-3 Mapa causal
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015



Step 3. Solutions

Corrective Actions to be implemented

Since solutions control specific causes, every action item (solution) should correspond to a cause from the Cause Map. This provides continuity from the analysis to the action items. Only those causes with action items (solutions) are listed in this table.

No.	Action Item	Cause	Owner(s) (Names)	Date Due	Status-Completed	Notes	Verification (Check of effectiveness)
1	Revisión de compresor	Cambio de válvulas/Revisión de instrumentación	Supervisor mecanico/Supervisor de Instrumentación	9 de Febrero 2015	50%	Se realiza la evaluación del compresor a fin de realizar reparaciones	9 de Febrero 2015
2	Incluir en los procedimientos a departamentos involucrados	Se integra al Departamento Eléctrico para incluirlo en estos trabajos	Superintendente de MNT0	9 de Febrero 2015	50%	Se realizan reuniones diarias con los departamentos involucrados	9 de Febrero 2015

Figura Mapa causal

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015



Figura 9-3 Mapa causal (Desarrollo 2)

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.4.2. Guías y protocolos de respuesta en casos de emergencias para los activos analizados.

Se han desarrollado los siguientes protocolos en el caso de emergencias considerando la importancia de los activos de Generación Eléctrica, así como el personal que labora en las instalaciones del Bloque 15, considerando que existen voltajes desde 115 V, hasta 65.000 V, con los cuales personal que no esté involucrado directamente en estas maniobras puede salir seriamente lesionado e inclusive se podría llegar a tener accidentes de mayor consideración, sin descartar un posible fallecimiento.

Bajo estas consideraciones se socializará estas guías y protocolos al personal para precautelar la integridad humana y de los activos de PAM, así como especificar las responsabilidades del personal que obligatoriamente debe estar coordinando las maniobras en el caso de ocurrir dichos eventos no deseados.



															
GUÍA DE REACCIÓN EN EL CASO DE UN BLACK OUT GENERACION CATERPILLAR															
DEPARTAMENTOS RESPONSABLES:															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="background-color: yellow;">MANTENIMIENTO</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">ACTORES DIRECTOS</th> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR MECANICO</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS MECANICOS</td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR ELECTRICO</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS ELECTRICOS</td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS DE INSTRUMENTACION</td> </tr> <tr> <td>INGENIERO DE AUTOMATIZACION</td> </tr> </table>	MANTENIMIENTO	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR MECANICO	TECNICOS MECANICOS	SUPERVISOR ELECTRICO	TECNICOS ELECTRICOS	SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION	TECNICOS DE INSTRUMENTACION	INGENIERO DE AUTOMATIZACION	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="background-color: yellow;">OPERACIONES</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">ACTORES DIRECTOS</th> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE GENERACION</td> </tr> <tr> <td>OPERADORES DE GENERACION</td> </tr> <tr> <td>OPERADORES DE CONSOLA</td> </tr> </table>	OPERACIONES	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR DE GENERACION	OPERADORES DE GENERACION	OPERADORES DE CONSOLA
MANTENIMIENTO															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR MECANICO															
TECNICOS MECANICOS															
SUPERVISOR ELECTRICO															
TECNICOS ELECTRICOS															
SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION															
TECNICOS DE INSTRUMENTACION															
INGENIERO DE AUTOMATIZACION															
OPERACIONES															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR DE GENERACION															
OPERADORES DE GENERACION															
OPERADORES DE CONSOLA															
RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL															
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> SUPERVISOR MECANICO Asistir al MCC para coordinar condiciones de equipos empezar, con MG101-1 TECNICOS MECANICOS Revisar niveles de fluidos Revisar baterías SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas OPERADORES DE GENERACION Verificar condiciones físicas que impidan el arranque Acudir a los puntos para encender equipos OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuenta con energia empezar a reestablecer los sistemas </td> </tr> </table>			SUPERVISOR MECANICO Asistir al MCC para coordinar condiciones de equipos empezar, con MG101-1 TECNICOS MECANICOS Revisar niveles de fluidos Revisar baterías SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque	SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas OPERADORES DE GENERACION Verificar condiciones físicas que impidan el arranque Acudir a los puntos para encender equipos OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuenta con energia empezar a reestablecer los sistemas											
SUPERVISOR MECANICO Asistir al MCC para coordinar condiciones de equipos empezar, con MG101-1 TECNICOS MECANICOS Revisar niveles de fluidos Revisar baterías SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque	SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas OPERADORES DE GENERACION Verificar condiciones físicas que impidan el arranque Acudir a los puntos para encender equipos OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuenta con energia empezar a reestablecer los sistemas														
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">Locación</td> <td style="width: 60%;">CPF</td> </tr> </table>			Locación	CPF											
Locación	CPF														
NOTA: SOLO PERSONAL AUTORIZADO DURANTE LAS MANIOBRAS															

Figura 10-3 Guía de reacción generación Caterpillar
 Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015



															
GUÍA DE REACCION EN EL CASO DE UN BLACK OUT GENERACION WAUKESHA															
DEPARTAMENTOS RESPONSABLES:															
<table border="1"> <tr> <th style="background-color: yellow;">MANTENIMIENTO</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">ACTORES DIRECTOS</th> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR ELECTRICO</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS ELECTRICOS</td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS DE INSTRUMENTACION</td> </tr> <tr> <td>INGENIERO DE AUTOMATIZACION</td> </tr> </table>	MANTENIMIENTO	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR ELECTRICO	TECNICOS ELECTRICOS	SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION	TECNICOS DE INSTRUMENTACION	INGENIERO DE AUTOMATIZACION	<table border="1"> <tr> <th style="background-color: yellow;">OPERACIONES</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">ACTORES DIRECTOS</th> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE GENERACION</td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE GENERACION WAKESHA</td> </tr> <tr> <td>OPERADORES DE GENERACION WAKESHA</td> </tr> <tr> <td>OPERADORES DE CONSOLA</td> </tr> </table>	OPERACIONES	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR DE GENERACION	SUPERVISOR DE GENERACION WAKESHA	OPERADORES DE GENERACION WAKESHA	OPERADORES DE CONSOLA	
MANTENIMIENTO															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR ELECTRICO															
TECNICOS ELECTRICOS															
SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION															
TECNICOS DE INSTRUMENTACION															
INGENIERO DE AUTOMATIZACION															
OPERACIONES															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR DE GENERACION															
SUPERVISOR DE GENERACION WAKESHA															
OPERADORES DE GENERACION WAKESHA															
OPERADORES DE CONSOLA															
RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL															
SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque	SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas SUPERVISOR DE GENERACION WAUKESHA Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas OPERADORES DE GENERACION WAUKESHA Verificar condiciones físicas que impidan el arranque Revisar niveles de fluidos y baterías, acudir a los puntos para encender equipos OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuente con energia empezar a reestablecer los sistemas														
Locación	CPF														
NOTA: SOLO PERSONAL AUTORIZADO DURANTE LAS MANIOBRAS															

Figura 11-3 Guía de reacción generación Waukesha

Elaborado por: Benítez Iván, 2015



															
GUÍA DE REACCIÓN EN EL CASO DE UN BLACK OUT GENERACION JENBACHER															
DEPARTAMENTOS RESPONSABLES:															
<table border="1"> <tr><td style="background-color: yellow;">MANTENIMIENTO</td></tr> <tr><td style="background-color: lightblue;">ACTORES DIRECTOS</td></tr> <tr><td>SUPERVISOR ELECTRICO</td></tr> <tr><td>TECNICOS ELECTRICOS</td></tr> <tr><td>SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION</td></tr> <tr><td>TECNICOS DE INSTRUMENTACION</td></tr> <tr><td>INGENIERO DE AUTOMATIZACION</td></tr> </table>	MANTENIMIENTO	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR ELECTRICO	TECNICOS ELECTRICOS	SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION	TECNICOS DE INSTRUMENTACION	INGENIERO DE AUTOMATIZACION	<table border="1"> <tr><td style="background-color: yellow;">OPERACIONES</td></tr> <tr><td style="background-color: lightblue;">ACTORES DIRECTOS</td></tr> <tr><td>SUPERVISOR DE GENERACION</td></tr> <tr><td>SUPERVISOR DE GENERACION JENBACHER</td></tr> <tr><td>OPERADORES DE GENERACION JENBACHER</td></tr> <tr><td>OPERADORES DE CONSOLA</td></tr> </table>	OPERACIONES	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR DE GENERACION	SUPERVISOR DE GENERACION JENBACHER	OPERADORES DE GENERACION JENBACHER	OPERADORES DE CONSOLA	
MANTENIMIENTO															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR ELECTRICO															
TECNICOS ELECTRICOS															
SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION															
TECNICOS DE INSTRUMENTACION															
INGENIERO DE AUTOMATIZACION															
OPERACIONES															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR DE GENERACION															
SUPERVISOR DE GENERACION JENBACHER															
OPERADORES DE GENERACION JENBACHER															
OPERADORES DE CONSOLA															
RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL															
SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque	SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas SUPERVISOR DE GENERACION JENBACHER Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas OPERADORES DE GENERACION Verificar condiciones fisicas que impidan el arranque Revisar niveles de fluidos y baterías, acudir a los puntos para encender equipos OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuenta con energia empezar a reestablecer los sistemas														
Locación	CPF														
NOTA: SOLO PERSONAL AUTORIZADO DURANTE LAS MANIOBRAS															

Figura 12-3 Guía de reacción generación Jenbacher

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015



															
GUÍA DE REACCIÓN EN EL CASO DE UN BLACK OUT GENERACION WARTSILA															
DEPARTAMENTOS RESPONSABLES:															
<table border="1"> <tr> <th style="background-color: yellow;">MANTENIMIENTO</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">ACTORES DIRECTOS</th> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR MECANICO</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS MECANICOS</td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR ELECTRICO</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS ELECTRICOS</td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION</td> </tr> <tr> <td>TECNICOS DE INSTRUMENTACION</td> </tr> <tr> <td>INGENIERO DE AUTOMATIZACION</td> </tr> </table>	MANTENIMIENTO	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR MECANICO	TECNICOS MECANICOS	SUPERVISOR ELECTRICO	TECNICOS ELECTRICOS	SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION	TECNICOS DE INSTRUMENTACION	INGENIERO DE AUTOMATIZACION	<table border="1"> <tr> <th style="background-color: yellow;">OPERACIONES</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;">ACTORES DIRECTOS</th> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR DE GENERACION</td> </tr> <tr> <td>OPERADORES DE GENERACION</td> </tr> <tr> <td>OPERADORES DE CONSOLA</td> </tr> </table>	OPERACIONES	ACTORES DIRECTOS	SUPERVISOR DE GENERACION	OPERADORES DE GENERACION	OPERADORES DE CONSOLA
MANTENIMIENTO															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR MECANICO															
TECNICOS MECANICOS															
SUPERVISOR ELECTRICO															
TECNICOS ELECTRICOS															
SUPERVISOR DE INSTRUMENTACION															
TECNICOS DE INSTRUMENTACION															
INGENIERO DE AUTOMATIZACION															
OPERACIONES															
ACTORES DIRECTOS															
SUPERVISOR DE GENERACION															
OPERADORES DE GENERACION															
OPERADORES DE CONSOLA															
RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL															
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="vertical-align: top; width: 50%;"> <p>SUPERVISOR MECANICO Asistir al MCC para coordinar condiciones de equipos empezar, con MG8001-3 (BLACK START)</p> <p>TECNICOS MECANICOS Revisar niveles de fluidos</p> <p>SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras</p> <p>TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras</p> <p>SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar</p> <p>TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras</p> <p>INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque</p> </td> <td style="vertical-align: top; width: 50%;"> <p>SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas</p> <p>OPERADORES DE GENERACION Verificar condiciones fisicas que impidan el arranque Acudir a los puntos para encender equipos</p> <p>OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuenta con energia empezar a reestablecer los sistemas</p> </td> </tr> </table>			<p>SUPERVISOR MECANICO Asistir al MCC para coordinar condiciones de equipos empezar, con MG8001-3 (BLACK START)</p> <p>TECNICOS MECANICOS Revisar niveles de fluidos</p> <p>SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras</p> <p>TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras</p> <p>SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar</p> <p>TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras</p> <p>INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque</p>	<p>SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas</p> <p>OPERADORES DE GENERACION Verificar condiciones fisicas que impidan el arranque Acudir a los puntos para encender equipos</p> <p>OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuenta con energia empezar a reestablecer los sistemas</p>											
<p>SUPERVISOR MECANICO Asistir al MCC para coordinar condiciones de equipos empezar, con MG8001-3 (BLACK START)</p> <p>TECNICOS MECANICOS Revisar niveles de fluidos</p> <p>SUPERVISOR ELECTRICO Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras</p> <p>TECNICOS ELECTRICOS Verificar condiciones para energizar Asistir en las maniobras</p> <p>SUPERVISOR INSTRUMENTACION Verificar condiciones para energizar</p> <p>TECNICOS INSTRUMENTISTAS Asistir en las maniobras</p> <p>INGENIERO DE AUTOMATIZACION Coordinar con operador de consola el reset de alarmas previo al arranque</p>	<p>SUPERVISOR DE GENERACION Verificar condiciones con operadores de generacion y consola, parametros principales, que no existan alarmas</p> <p>OPERADORES DE GENERACION Verificar condiciones fisicas que impidan el arranque Acudir a los puntos para encender equipos</p> <p>OPERADOR DE CONSOLA Verificar con Automatizacion el reset de alarmas Cuando de cuenta con energia empezar a reestablecer los sistemas</p>														
Locación	CPF														
NOTA: SOLO PERSONAL AUTORIZADO DURANTE LAS MANIOBRAS															

Figura 13-3 Guía de reacción generación Wartsila
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.5 Selección del sistema

Al analizar el RCM de los cuatro sistemas y considerando que en las tablas de ponderación de criticidad los dos motores Wartsila aparecen como ítem “A”, y teniendo en cuenta que es el pilar del sistema de generación, los recursos de la presente investigación se centran en analizar este sistema que actualmente está entregando el 55% de la Capacidad Operativa. A continuación se resume las proporciones de los sistemas instalados en CPF en la tabla 17-3.

Tabla 17-3 Capacidad de los sistemas

Sistema de Generación	Capacidad Operativa [MW]	%
Wartsila	11	55
Jenbacher	6.4	32
Waukesha	2.1	11
Caterpillar	0.4	2
Total	19.9	

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Se ha seleccionado el sistema de generación Wartsila por ser el principal proveedor de energía al momento en las operaciones del CPF así como el exportador a las operaciones de los otros campos a través del SEIP.

El sistema en general conformado por los activos críticos se esquematiza en la gráfico 13, este diagrama de bloques permite el analizar el activo crítico determinado.

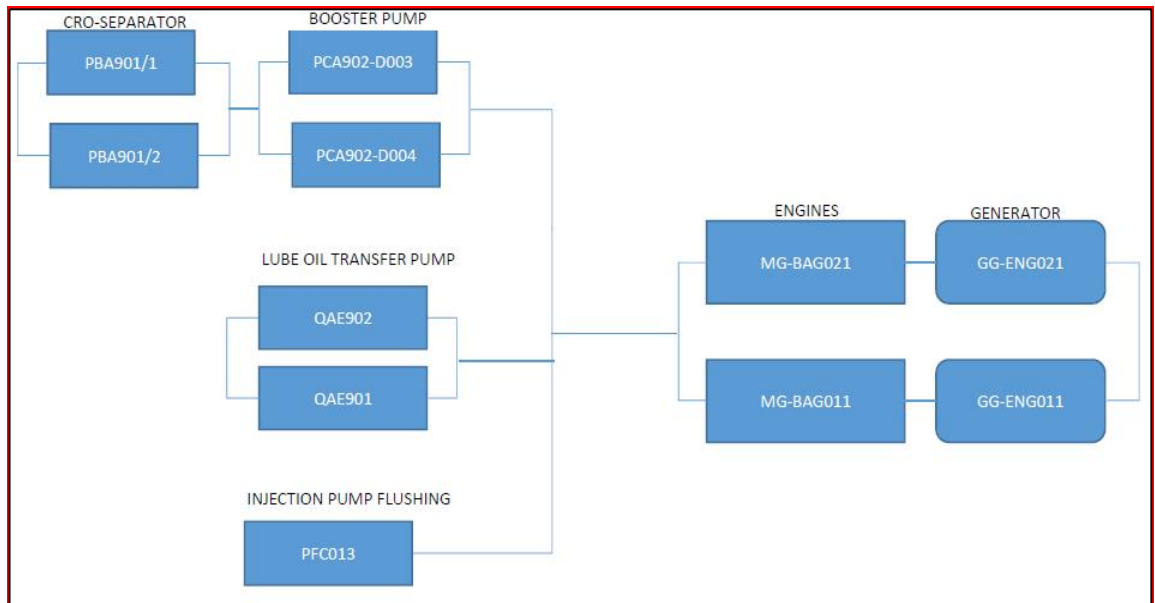


Figura 14-3 Descripción del sistema

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.6. Modos de falla y análisis de efectos (FMECA)

La herramienta del FMECA ha sido utilizada como parte de la metodología para contestar las primeras 5 preguntas básicas del RCM citadas en capítulos anteriores, y que es fundamental la obtención de estos resultados para finalmente llegar a la aplicación de la técnica del RCM, en la que se puede prevenir o predecir el fallo y que se debe hacer si no se puede encontrar una tarea preventiva o predictiva según lo recomienda la norma SAE JA1011.

En el FMECA se considera los modos de falla que se han evidenciado en la corta vida útil de la planta de generación, pueden surgir muchos adicionales, en la normal operación de la planta, debido al dinamismo de funcionamiento de los elementos, y se deberán considerarlos en estudios futuros de la situación que se presentare.


3.3.6.1. Resultados de la Aplicación de FMECA en sistemas de generación.

Se analizan los 4 sistemas de generación, se evidencia las siguientes deducciones en categorías:

- En la generación Caterpillar con un modo de fallo recurrente en el sistema de combustible, se obtuvo un valor de riesgo 12 que corresponde a una categoría aceptable.
- Sistema de generación Waukesha con un modo de fallo en la entrega de gas en el compresor, se obtuvo una cuantificación del riesgo de 192 que es notable, evidentemente se perderá la generación del sistema.
- Sistema de generación Jenbacher, se tiene un valor de riesgo de 48 con la categoría de riesgo de moderado, considerando como modo de fallo un ajuste inadecuado en sistema de balancines.
- Sistema de generación Wartsila, considerando el modo de falla del sistema de inyección, se obtiene un valor de riesgo 75, y una categoría de riesgo notable.

A continuación los resultados en la tabla 18-3, el detalle de la Aplicación de FMECA en los 4 Sistemas de Generación existentes considerando las fallas recurrentes que han afectado al desempeño de la unidades, teniendo en cuenta la Detección, la Severidad con que afecta al sistema, la Ocurrencia, el valor del Riesgo y la categoría del Riesgo.

Tabla 18-3 Modos de falla y análisis de efectos (FMECA)

		MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLAS (FMECA)				<div>REGRESAR</div>	
		EQUIPO: SISTEMA DE GENERACION CPF					
		FECHA: Diciembre 2014	LOCACION: Planta de generacion CPF, B15				
EQUIPO / SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE LA FALLA	DETECCIÓN	SEVERIDAD	OCURRENCIA
Sistema de generacion Caterpillar	Entregar no menos de 4400 kW de energia al sistema electrico (Actual reserva fria). Entrega 500 kW.	No entregar energia electrica diariamente a l sistema	Fallas recurrentes en el sistema de combustible	PERDIDA DE PRESION DE COMBUSTIBLE, POSTERIOR ALARMA POR BAJA PRESION DE COMBUSTIBLE Y EQUIPO ENVIADO A SHUT DOWN, CAIDA EN LA CAPACIDAD ENERGETICA, SE TIENE QUE INGRESAR OTRO EQUIPO PARA REMPLAZAR EL FALLIDO	EVIDENTE	3 INCIDENCIA MEDIA	2 OCURRE MEDIANAMENTE
Sistema de generacion Waukesha	Entregar no menos de 2.1 MW de energia al sistema electrico, 700kW por 3 unidades.	No entregar energia electrica diariamente a l sistema	Fallas de entrega de gas a causa del compresor	APAGADO DEL EQUIPO A CAUSA DE LA FALLA EN EL SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE GAS POR PARTE DEL COMPRESOR	EVIDENTE	3 INCIDENCIA MUY IMPORTANTE	8 OCURRE FRECUENTEMENTE
			Fallas en las valvulas de combustible	INCREMENTO DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR, SONIDOS FUERTES A CAUSA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE, POSTERIOR PARO DE LA MAQUINA	MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	2 INCIDENCIA LEVE	3 OCURRE MEDIANAMENTE
Sistema de generacion Jenbacher	Entregar no menos de 6.4 MW de energia al sistema electrico, 800kW por 8 unidades	No entregar energia electrica diariamente a l sistema	Ajuste inadecuado de balancines del motor MGB02	ROTURA DE ELEMENTOS DENTRO DE LOS CABEZOTES Y CILINDROS, INDISPONIBILIDAD DEL EQUIPO	PROBABLE DE DETECTAR	3 INCIDENCIA MUY IMPORTANTE	8 CASI NUNCA OCURRE
Sistema de generacion Wartsila	Entregar no menos de 11 MW de energia al sistema electrico, 5.5 MW por 2 unidades.	No entregar energia electrica diariamente al sistema	Fugas de refrigerante por cabezote	PERDIDA DE PRESION EN EL SISTEMA DE CABEZOTE, CONTAMINACION	MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	3 INCIDENCIA LEVE	3 CASI NUNCA OCURRE
			Fallas en el sistema de inyeccion	DANO DE INYECTORES, INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA MAQUINA, DISMINUCION DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL	MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	3 INCIDENCIA MEDIA	5 OCURRE MEDIANAMENTE


Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

3.3.6.2 Resultados de la Aplicación de FMECA en sistemas críticos.

Ya en los Sistema Críticos que se considera la Generación Wartsila se pueden observar los valores obtenidos que son Notables en lo que se refiere al motor y al Generador, por lo que se debe poner énfasis en los cuidados de las rutinas de Mantenimiento a implementarse y por obvias razones las ubica en el sistema de alimentación de combustible en el motor, y en el análisis de los componentes eléctricos en el Generador. Así como en los componentes considerados de apoyo y sin los cuales no operarían las unidades, resumido en la tabla 19-3.

- MG-BA G011: Considerando un fallo por insuficiente entrega de combustible de la bomba booster, se obtiene un valor de riesgo de 75, que lo ubica como un riesgo notable.
- GG-EN G011: Considerando un modo de fallo del sistema de rectificación de corriente del generador (diodos) se obtiene un valor de riesgo de 192, que lo ubica con un riesgo también notable.
- P-PCA902-D003: Considerando un modo de fallo en el impeller de la bomba, se cuantifica un valor de riesgo 30, que lo ubica en una categoría de moderado.
- P-BA901/1: Considerado un modo de fallo en el sistema de centrifugado, se obtiene una calificación de 60, siendo un riesgo moderado
- P-PC013: Considerando un modo de fallo en el impeller de la bomba, se obtiene una calificación de 8, que lo ubica en una categoría de riesgo aceptable.
- P-QAE 902: Con un modo de fallo en el impeller de la bomba o daño en el motor eléctrico, da un riesgo 8, que ubica es mismo en una categoría aceptable.

Tabla 19-3 Aplicación de FMECA en sistemas críticos

		MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLAS (FMECA)							
		EQUIPO: SISTEMA DE GENERACION CPF							
		FECHA: SEPTIEMBRE 2015				LOCACION: Planta de generacion CPF, B15			
EQUIPO / SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	DETECCIÓN		SEVERIDAD	OCURRENCIA	
ENGINE MG-BAG011 [CPF]	Entregar la potencia mecánica necesaria para generar energía	No entregar la potencia necesaria para el giro adecuado del motor	Fallo por insuficiente entrega de combustible de la bomba booster	Apagado del equipo a causa del fallo en el suministro de combustible, por parte de la bomba	EVIDENTE	3	INCIDENCIA MEDIA	5	OCURRE MEDIANAMENTE
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	Entregar no menos de 5.5 MW	No entregar el energía de 5.5 MW al sistema	Fallo de sistema de rectificación de corriente en el generador	Suspensión de entrega de energía del generador	EVIDENTE	3	INCIDENCIA MUY IMPORTANTE	8	OCURRE FRECUENTEMENTE
PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D003 [CPF]	Entregar combustible necesario para el funcionamiento del motor a un presión y caudal requerido	No entregar combustible necesario para el funcionamiento del motor	Fallo en el impeller de la bomba	Suspensión parcial de entrega de energía del moto-generador, Inestabilidad del sistema	MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	2	INCIDENCIA LEVE	3	CASI NUNCA OCURRE
CRO-SEPARATOR UNIT PBA501/1 [CPF]	Limpiar el combustible mediante centrifugación para evitar ingreso de impurezas	No separar impurezas del combustible	Fallo en el sistema de centrifugado	Taponamiento de inyectores, Suspensión parcial de entrega de energía del moto-generador, Inestabilidad del sistema	MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	3	INCIDENCIA MUY IMPORTANTE	4	CASI NUNCA OCURRE
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	Limpiar el sistema de combustible con diesel con la capacidad y presión necesaria	No entregar la presión necesaria para la limpieza del sistema	Fallo en el impeller de la bomba, daño en el motor eléctrico	Pérdidas de presión y obstrucción en el sistema de entrega de combustible. Suspensión parcial de entrega de energía del moto-generador, Inestabilidad del sistema	MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	2	INCIDENCIA LEVE	2	CASI NUNCA OCURRE
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	Entregar aceite lubricante en las capacidades y presiones necesarias	No entregar la capacidad requerida del lubricante para salvaguardar el motor	Fallo en el impeller de la bomba, daño en el motor eléctrico	Parada del equipo por baja presión de aceite en el sistema	MEDIANAMENTE PROBABLE DE DETECTAR	2	INCIDENCIA MEDIA	2	OCURRE MEDIANAMENTE

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

CAPITULO IV

4.1. Resultados y Discusión

El proceso del RCM se desarrolló partir del FMECA mostrado en el capítulo anterior, en esta sección se mostrarán los resultados del análisis de sistemas, funciones, fallas funcionales, modos de falla y categorías de riesgo, y su incidencia en el diagrama de decisiones que generarán las recomendaciones para las tareas a desarrollarse, así como responsables de las tareas y demás necesarios para garantizar que se realicen oportunamente los mantenimientos necesarios.

4.2 Resultados de la Aplicación de RCM en sistemas críticos.

Se refiere el estudio a contestar las preguntas básicas establecidas en la norma SAE JA1011, luego de las cuales, se concluye en qué se debería hacer, si no se puede encontrar una tarea adecuada. Durante el trabajo realizado se han respondido las inquietudes trazadas, evidenciando en las matrices y luego en los resultados.

A continuación se muestran las hojas de trabajo de RCM apoyada con la hoja de decisión respecto a las tareas necesarias en el análisis del sistema crítico, en la tabla 1-4. También se ha desarrollado recomendaciones según el tipo de mantenimiento requerido (predictivo, preventivo o correctivo) para evitar los fallos funcionales con base en la experiencia del grupo multidisciplinario, así como del responsable del área inmersa en estos eventos.

Tabla 1-4 Hoja de trabajo RCM de equipo crítico

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM		ELEMENTO	SISTEMA DE GENERACION WARTSILA: MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA		N° RCM-01	Realizado por: PAM CPF	Fecha 10/10/2015	Hoja	
		COMPONENTE			Ref REV-00	Revisado Por: PAM CPF	Fecha 10/10/2015	de	
FUNCION		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO (cause del fallo)		EFECTO DE LOS FALLOS (Qué sucede cuando falló)			
1	Entregar la potencia mecánica necesaria para generar no menos de 5.5 MW a 60 Hz	A.	No entregar la potencia necesaria para el giro adecuado del motor	1	El impeller de la bomba booster falló	Cuando el impeler se suelta, se pierde las funciones de la bomba, limitando la potencia que entrega el motor, hasta el encendido del equipo dedundante.			
				2	Válvula de ingreso trabada en posición cerrada o parcialmente cerrada	Cuando la válvula de ingreso está en posición cerrada, existe la pérdida total o parcial de caudal de crudo, reduciendo el torque entregado al generador, poniendo en riesgo que aguas a bajo no logre soportar la carga requerida al sistema.			
				3	Línea de succión de combustible parcialmente bloqueada/obstruida	Estas líneas al estar parcialmente bloqueadas/obstruidas , disminuyen la capacidad normal de caudal y limita la presión entregada al sistema de inyección			
		B.	Variación de RPMs a las nominales	4	Strainer sucio de la bomba de combustible	Al encontrarse el strainer sucio en la línea caudal de crudo se pierde el paso de crudo, de esta manera no existe el aporte de combustible para el nomal funcionameinto del motor			
				5	Rotura de linea de succión de aceite	Si no existe la presión necesaria el sensor del motor, manda a apagar el mismo o no llega lubricante a la maquinaria, lo que puede afectar seriamente los componentes si las salvaguardas (alarmas) llegaran a fallar, la redundancia nuevamente es efectiva			
				6	Rotura de linea de descarga de aceite	Entrega de menor presión causa desgaste acelerado y posible shutdown dependiendo de la presión alcanzada.			

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

El análisis del RCM ha sido desarrollado considerando el activo más crítico, sistema de generación Wartsila, y su influencia en los fallos de los sistemas auxiliares como combustible y lubricación, que conllevan al fallo del motor.

Se ha establecido que la función específica del motor es la entrega de la potencia mecánica requerida para la generación del sistema, con un régimen que lleve a 60Hz.

Los fallos funcionales para el motor del sistema, evidentemente son aquellos que limiten que se cumpla la función principal, por lo que para el presente análisis, una menor potencia mecánica, conllevaría a que la carga del sistema no sea producida; y también que una frecuencia diferente a la nominal, lleve a un shutdown al sistema.

Los modos de fallo, se centran básicamente en que existan restricciones en el sistema de alimentación de combustible, así como en la lubricación del motor. Estas causas relacionan los fallos funcionales entre sí.

Y Finalmente los efectos, explican lo que sucedería en cada modo de fallo citado en la hoja de trabajo, y que conllevarían a un fallo del sistema o a una parada no programada.

4.3. Selección de tareas

Las tareas a realizar son seleccionadas utilizando el diagrama de decisión y básicamente se enfocan a tareas de índole predictiva, en las cuales se deberá centrar las decisiones a tomarse en la operación.

Enfocados en el diagrama de decisión en donde, se tiene al análisis de los fallos que se constituyen en evidentes, relacionados directamente con salud ocupacional, luego considerado también importante el medio ambiente y por último analizar los modos de fallo operacionales.

Estas tareas que se generan a partir del diagrama de decisión están resumidas en las siguientes:

- Análisis de aceite
- Termografía
- Boroscopia
- Análisis de vibraciones

Todas estas, considerando que ya los equipos están sobre las 8000 horas y que fabrica recomiendan el mayor overhaul a las 12000 horas.

El proceso de decisión, deriva, en las frecuencias de cada tarea, y las personas responsables de las mismas, y resumen en los tipos de mantenimiento a utilizarse, que recaen en los tipos de intervención a realizarse ya establecidos, siendo los más importantes. La tabla 2-4 indica la hoja de trabajo de trabajo de decisión del RCM donde se han considerado las consecuencias para cada modo de fallo indicado en el motor.

Como se aprecia en las tablas 3-4 a la tabla 6-4, se establecen tareas que salvaguardan los posibles modos de fallo, y se recomiendan las tareas, ya sean predictivas, preventivas y correctivas, así como el equipo especializado (herramientas), ejecutores de las tareas, identificación de las tareas, frecuencias, tiempo estimado y repuestos.


Por resultados en la tabla 7-4, se evidencia claramente la demostración del cumplimiento de la Hipótesis del presente trabajo, en porcentajes de realización y cumplimiento; como también ubicando el factor económico fundamental en las figuras correspondientes.

Tabla 2-4 Diagrama de decisión de RCM de equipo crítico

HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM							SISTEMA DE GENERACION WARTSILA						N° RCM-01	Realizado por: PAM CPF	Fecha 10/10/2015	Hoja
							COMPONENTE						Ref REV-00		Revisado por	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N1	N2	N3				Inspeccion de impeller y componentes de bomba	Cada 250 hrs	Mantenedor	
1	A	2	S	N	N	S	S1	S2	S3				Haga la comprobación de caudal dela bomba y verifique la succion, verificacion de sistemas automaticos	Diaria	Operador	
1	A	3	S	N	N	S	N1	N2	N3				Realizar comprobacion de caudal, en indicadores	Diaria	Operador	
1	A	4	S	N	N	S	S1	S2	S3				Haga los cambios de strainer y verifique la calidad de crudo.	Cada 250 hrs	Mantenedor	
1	B	1	S	N	N	S	S1	S2					Realizar comprobacion de caudal, en indicadores	Diaria	Operador	
1	B	2	S	N	N	S	N1	N2	N3				Revizar posicion decierre de valvulas	Semanal	Mantenedor	
1	B	3	S	N	N	S	S1	S2					Revisar condición de las tuberias de combustibles.	Cada 250 hrs	Mantenedor	
1	B	4	S	N	N	S	S1	S2	S3				Limpiar el strainer, verificar integridad del mismo	Cada 250 hrs	Mantenedor	

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Tabla 3-4 Aplicación de RCM en sistemas críticos.

<div>  <div> MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EQUIPO: SISTEMA DE GENERACION ELECTRICA CPF FECHA: SEPTIEMBRE 2015 </div> </div>					
EQUIPO / SISTEMA	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	CATEGORÍA DEL RIESGO	TAREAS DE MANTENIMIENTO
ENGINE MG-BAG011 [CPF]	Entregar la potencia mecánica necesaria para generar energía	No entregar la potencia necesaria para el giro adecuado del motor	Fallo por insuficiente entrega de combustible de la bomba booster	NOTABLE	Mantenimiento de aceite), Tareas de Mantenimiento
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	Entregar no menos de 5.5 MW	No entregar el energía de 5.5 MW al sistema	Fallo de sistema de rectificación de corriente en el generador	NOTABLE	Tareas de Mantenimiento
PUMP + MG-COUPLING P-PCA902-D003 [CPF]	Entregar combustible necesario para el funcionamiento del motor a una presión y caudal requerido	No entregar combustible necesario para el funcionamiento del motor	Fallo en el impeller de la bomba	MODERADO	Mantenimiento
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	Limpiar el combustible mediante centrifugación para evitar ingreso de impurezas	No separar impurezas del combustible	Fallo en el sistema de centrifugado	MODERADO	Mantenimiento en
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	Limpiar el sistema de combustible con diesel con la capacidad y presión necesaria	No entregar la presión necesaria para la limpieza del sistema	Fallo en el impeller de la bomba, daño en el motor eléctrico	ACEPTABLE	Tareas de Mantenimiento
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	Entregar aceite lubricante en las capacidades y presiones necesarias	No entregar la capacidad requerida del lubricante para salvaguardar el motor	Fallo en el impeller de la bomba, daño en el motor eléctrico	ACEPTABLE	Tareas de Mantenimiento

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Tabla 4-4 Aplicación de RCM en sistemas críticos (Evaluación de tareas preventivas)

EQUIPO / SISTEMA	TAREA PREVENTIVA	EJECUTOR (Labor/ Descripción)	REPUESTOS (Spares/ Description)	TIEMPO (horas)	Task Id	FRECUENCIA (horas) (Task/Interval)
ENGINE MG-BAG011 [CPF]	Verificar componentes de la bomba de combustible	Tecnico Mecanico	Impeller, conectores	1	PM 1	700
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	Verificar componentes de rectificacion electrica	Tecnico Electrico	Diodos,regletas	0.5	PM2	2000
PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D003 [CPF]	Verificar componentes de la bomba	Tecnico Mecanico	Impeller, conectores	1	PM 1	700
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	Verificar ajustes y elementos de la centrifuga	Tecnicos, Mecanicos, Electricos e instrumentistas	Discos centrifugadores	2	PM 1	2000
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	Verificar componentes de la bomba	Tecnico Mecanico	Impeller, conectores	1	PM 1	2000
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	Verificar componentes de la bomba	Tecnico Mecanico	Impeller, conectores	1	PM 1	2000

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Tabla 5-4 Aplicación de RCM en sistemas críticos (Evaluación de tareas de inspección)

EQUIPO / SISTEMA	TAREA INSPECCIÓN	EJECUTOR (Labor/Description)	TIEMPO (horas)	Task Id	FRECUENCIA (horas) (Task/Interval)
ENGINE MG-BAG011 [CPF]	Inspeccion de liqueos y parametros	Tecnico Mecanico, personal de patio	0.5	IN01	700
SYNCHRONOUS GENERATOR GG- ENG011 [CPF]	Termografia, parametros electricos	Ing. Predictivo, Tecnico electronico	0.5	IN02	2000
PUMP + MG- COUPLING P-PCA902- D003 [CPF]	Inspeccion de liqueos y parametros	Tecnico Mecanico, personal de patio	0.5	IN01	700
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	Inspeccion de liqueos y parametros	Tecnico Mecanico, personal de patio	0.5	IN01	2000
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	Inspeccion de liqueos y parametros	Tecnico Mecanico, personal de patio	0.5	IN01	2000
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	Inspeccion de liqueos y parametros	Tecnico Mecanico, personal de patio	0.5	IN01	2000

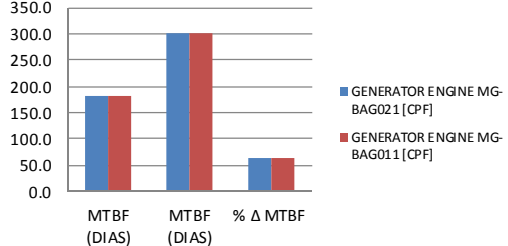
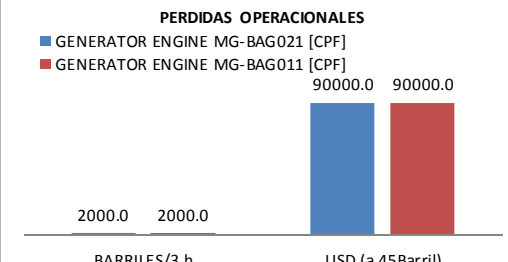
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Tabla 6-4 Aplicación de RCM en sistemas críticos (Evaluación de tareas correctivas)

EQUIPO / SISTEMA	TAREAS CORRECTIVAS	EQUIPO ESPECIALIZADO (Equipment/Description)	EJECUTOR (Labor/Description)	REPUESTOS (Spares/Description)	TIEMPO (horas)	Task Id
ENGINE MG-BAG011 [CPF]	Corregir fugas en cada mantenimiento	Herramientas especiales Wartsila	Tecnico Mecanico	Orings, empaquetaduras, impeller	1	CM1
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	Analizar componentes	Herramientas especiales Wartsila	Tecnico electrico, Tecnico instrumentista	Diodos, regletas	1	CM2
PUMP + MG-COUPPLING P-PCA902-D003 [CPF]	Corregir fugas en cada mantenimiento	Herramientas especiales Wartsila	Tecnico Mecanico	Orings, empaquetaduras, impeller	1	CM1
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	Corregir fugas en cada mantenimiento, limpieza de discos	Herramientas especiales Wartsila	Tecnico Mecanico	Discos centrifugadores, Orings, empaquetaduras	4	CM1
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	Corregir fugas en cada mantenimiento	Herramientas especiales Wartsila	Tecnico Mecanico	Orings, empaquetaduras, impeller	1	CM1
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	Corregir fugas en cada mantenimiento	Herramientas especiales Wartsila	Tecnico Mecanico	Orings, empaquetaduras, impeller	1	CM1

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Tabla 7-4 Demostración de la Hipótesis

	ENE.2015	NOV. 2015	% DIAS ENTRE FALLO		BARRILES PERDIDOS	COSTO / BARRIL	
ACTIVOS	MTBF (DIAS)	MTBF (DIAS)	% Δ MTBF	DIAS HASTA 100%	BARRILES/3 h	USD (a 45Barril)	
GENERATOR ENGINE MG-BAG021 [CPF]	182.5	300.0	64.4	165.8	2000.0	90000.0	INCREMENTO MTBF 
GENERATOR ENGINE MG-BAG011 [CPF]	182.5	300.0	64.4	165.8	2000.0	90000.0	
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG021 [CPF]	273.8	300.0	9.6				PERDIDAS OPERACIONALES 
SYNCHRONOUS GENERATOR GG-ENG011 [CPF]	273.8	300.0	9.6				
BOOSTER UNIT PCA902-D003 [CPF]	273.8	300.0	9.6				
BOOSTER UNIT PCA903-D004 [CPF]	273.8	300.0	9.6				
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/1 [CPF]	273.8	300.0	9.6				
CRO-SEPARATOR UNIT PBA901/2 [CPF]	273.8	300.0	9.6				
INJECTION PUMP FLUSHING UNIT PFC013 [CPF]	273.8	300.0	9.6				
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE902 [CPF]	273.8	300.0	9.6				
LUBE OIL TRANSFER PUMP UNIT QAE901 [CPF]	273.8	300.0	9.6				

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

CONCLUSIONES:

- Con base en el RCM se ha propuesto el mejoramiento de los planes de mantenimiento de los equipos críticos de generación eléctrica de la central de producción y facilidades (CPF) estableciendo tareas básicamente de tipo predictivo, con el propósito de precautelar los elementos de los mismos.
- La generación de energía en CPF del Bloque 15 ha sido diseñado para operar con 3 tipos de combustibles asociados a la operación, que son gas, crudo y diésel, siendo este último producido en las facilidades de la central, pero se considera el crudo como pilar debido a la capacidad de potencia que entrega al SEIP.
- Se obtuvieron los resultados de valores de criticidad utilizando la Matriz de Jerarquización de Activos Críticos Utilizada en toda la organización, producto de la cual los motores Wartsila fueron los activos críticos, criticidad tipo A, establecidos dentro de las facilidades de generación del CPF. La criticidad B fue el resultado de la gran mayoría de elementos de los sistemas que intervienen en la generación, y finalmente la criticidad C en apenas en pocos elementos.
- Se ha aplicado la metodología del RCM a los elementos determinados como críticos en la operación de los motores Wartsila, utilizando los criterios requeridos por la norma SAE 1011, desarrollando mediante las herramientas establecidas para este tipo de técnicas, así como las matrices de FMECA y las de RCM.
- Las guías y protocolos desarrollados permitirán que no existan confusiones en eventos de emergencia ante las eventuales paradas no programadas en los 4 escenarios posibles. El personal involucrado conoce sus funciones y responsabilidades; las decisiones son inmediatas, considerando que se manejan niveles de tensión sobre los 35.000 voltios.
- A fin de disminuir las pérdidas operacionales realizando las distintas tareas que han sido determinadas a través de la aplicación de las técnicas utilizadas en el RCM. Además las tareas recomendadas buscan extender el tiempo de vida útil de los componentes, realizando los trabajos de mantenimiento predictivo y una trazabilidad acorde con la importancia que tienen estos equipos.

RECOMENDACIONES:

- Incluir en las rutinas de mantenimiento e ingresarlas en el sistema Maximo con órdenes de trabajo, a fin de asegurar el cumplimiento obligatorio de las mismas.
- Se recomienda realizar un estudio que permita elevar la disponibilidad de los equipos que utilizan gas asociado como combustible, para lo cual se debe hacer un acercamiento con Petroecuador a fin que permitan el uso de gas rico que posee junto a la estación Limoncocha de Petroamazonas.
- Realizar la aplicación de RCM a los componentes y sistemas individuales que aportan o son parte de los equipos críticos establecidos en el presente estudio, para dirigir los recursos a todos los componentes de una manera más acertada según la probabilidad de fallos potenciales.
- Difundir al personal perteneciente a la empresa los protocolos y guías diseñados en caso de eventos, y realizar simulacros a fin de optimizar los recursos y establecer claramente las funciones de cada empleado. Concientizar los peligros asociados a la energía eléctrica en los niveles manejados.
- Analizar los recursos necesarios para realizar nuevas tareas de mantenimiento, tanto económicos, humanos y tecnológicos, a fin de trabajar proactivamente de una manera sostenible y acorde a las normativas internacionales y las exigidas por Petroamazonas.

GLOSARIO DE TERMINOS:

SEIP.

Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero.

CCO.

Centro de Control y Optimización.

CPF.

Central production and facilities.

RCM.

Reliability Centered Maintenance

SOTE

Sistema de Oleoducto Trans Ecuatoriano

ACR

Análisis Causa Raíz

MTBF

Tiempo medio entre fallas

MTTF

Tiempo promedio para la falla

MTTR

Tiempo medio para la reparación

BIBLIOGRAFIA

AUSTRIA. CLARKE ENERGY. (s.f.). *GE's Jenbacher Gas Engines*. Obtenido de <http://www.clarke-energy.com/gas-engines/>. 11-03-2015.

AUSTRIA. GENERAL ELECTRIC. (s.f.). *Motores a Gas Jenbacher*. Obtenido de http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/ recip_engines/es/index.htm. 11-03-2015.

ESTADOS UNIDOS. DMLieferant. (s.f.). *GE Wuakesha Motores alternativos*. Obtenido de <https://translate.google.com/translate?hl=es&sl=ru&tl=es&u=http%3A%2F%2FdmLiefer.ru%2Fcontent%2Fge-waukesha>. 11-03-2015.

ESTADOS UNIDOS. CATERPILLAR. (s.f.). *Grupos electrogenos diesel*. Obtenido de http://www.cat.com/es_MX/power-systems/electric-power-generation/diesel-generator-sets.html. 15-03-2015.

ESTADOS UNIDOS. CATERPILLAR. (s.f.). *Sistemas de produccion de energia*. Obtenido de http://www.cat.com/es_MX/products/new/power-systems.html. 15-03-2015.

ESTADOS UNIDOS. DEPARTAMENTO DE ENERGIA DE LOS ESTADOS UNIDOS. (2007). *Deparment of Energy*. Obtenido de Caterpillar Research: http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f8/deer07_bruch.pdf. 10-03-2015.

ESTADOS UNIDOS. GENERAL ELECTRIC. (s.f.). *Wuakesha VHP*. Obtenido de <https://www.ge-distributedpower.com/products/gas-compression-mechanical-drive/maxi-2-000-bhp/vhp-gp>. 10-03-2015.

FINLANDIA. WARTSILA. (s.f.). *Combustion Engine vs Gas Turbine: Fuel Flexibility*. Obtenido de <http://www.wartsila.com/en/power-plants/learning-center/overview/reciprocating-engine-vs-gas-turbine-fuel-flexibility>. 30-03-2015.

MOUBRAY, J. (1997). *Reliability centered maintenance*. Industrial Press. Second edition. 420 p. Library of Congress Cataloging in publication data. New York. United States. p. 6.

RELIASOFT. (2015). *www.reliasoft.com*. Recuperado el 26 de 04 de 2015, de <http://www.reliasoft.com/xfmea/features1.htm>.

RUBIO, J. c. (2014). *Manual para la formación de nivel superior en prevención de riesgos laborales*. Espana: Ed. Diaz de Santos. p.27

TORRES, L. D. (2004). *Mantenimiento. Su implementacion y gestion*. Argentina: UNIVERSITAS. p. 60.

VELASCO, A. (s.f.). *Universidad San Martin de Porres*. Recuperado el 26 de 09 de 2015, de file:///C:/Users/WinUser/Desktop/gr2.pdf. p.54.

UNITED STATES. SOCIETY AMERICAN ENGINEERING. SAE-JA1011, N. O. (2002). *Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)*. EEUU: SAE-JA1012.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A1 Especificaciones de motor Caterpillar

Potencia del motor	2669 HP
Cilindros	60 grados V-12
Válvulas por cilindro	4
Desplazamiento de Pistones	3158 in ³ (51,8 L)
Diámetro y Carrera	6.7" x 7.5" (170x190 mm)
Tasa de compresión	14,7:01
Combustión	Inyección directa
Orden de encendido (secuencia de inyección)	Rotación estándar CCW 1, 12, 9, 4, 5, 8, 11, 2, 3, 10, 7, 6
Juego de las válvulas	Admisión 0,50 mm (0,020 in) Escape 1,00 mm (0,040 in)

ESPECIFICACIONES DE GENERADOR

Potencia Activa	1825 KW
Potencia Aparente	2281 KVA

Fuente. http://www.cat.com/es_MX/power-systems/electric-power-generation/diesel-generator-sets.html

ANEXO B

Tabla B1 Especificaciones de motor Jenbacher

Datos constructivos:		
Modo de trabajo	Motor Otto de 4 tiempos Carga con mezcla por turbocompresor de gases de escape	
Sentido de giro mirando sobre el volante	antihorario	
Disposición de los cilindros		V 70°
Número de cilindros		20
Diámetro	mm	135
Carrera	mm	170
Cilindrada total	l	48,667
Relación de compresión	Epsilon	12,5

Condiciones normales de referencia:		
Presión del aire	mbar	1000*)
Temperatura del aire	°C	25
Humedad relativa del aire	%	30

*) o 100 m sobre el nivel normal

Reducción de la potencia del motor:		
Altura	0,7% por cada 100m por encima de 500m	
Temperatura	0,5% por cada 1°C por encima de 25°C	

Datos de funcionamiento:		
Número nominal de revoluciones	min ⁻¹	1800
Velocidad media del émbolo al número nominal de revoluciones	m/s	8,5
Presión de servicio del aceite lubricante	bar	4 - 5
Presión mínima del aceite lubricante ¹⁾	bar	2 - 4
Temperatura del agua de refrigeración de salida a plena carga	°C	90
Consumo de aceite lubricante (medio a plena carga)	g/kWh	0,2

1) La presión mínima del aceite lubricante está en el rango de 2 - 4 bar, dependiendo de la temperatura del aceite de motor y de las revoluciones del motor.

Peso/dimensiones:		
Peso del motor (en seco)	kg	4900
Peso del motor (en orden de marcha)	kg	5420
Longitud	mm	3320
Anchura	mm	1340
Altura	mm	1800

Volúmenes de llenado de los medios de servicio:		
Aceite lubricante del motor	l	370
Líquido refrigerante del motor	l	150

Fuente. http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/recip_engines/es/index.htm

ANEXO C

Tabla C1 Especificaciones de motor Waukesha

Cilindros	V 12
Desplazamiento de Pistones	7040 in ³ (115L)
Diámetro y Carrera	9.375" x 8.5" (238x216 mm)
Tasa de compresión	8:01
Capacidad de agua en camisas	100 gal (379 L)
Capacidad de aceite en el cárter	190 gal (719 L)
Sistema de arranque	125 - 150 psi aire / 24 V eléctrico.
Peso	21000 lb. (9525 kg)

Fuente. <https://www.ge-distributedpower.com/products/gas-compression-mechanical-drive/maxi-2-000->

bhp/vhp-gp

ANEXO D

Tabla D1 Especificaciones de motor Wartsila

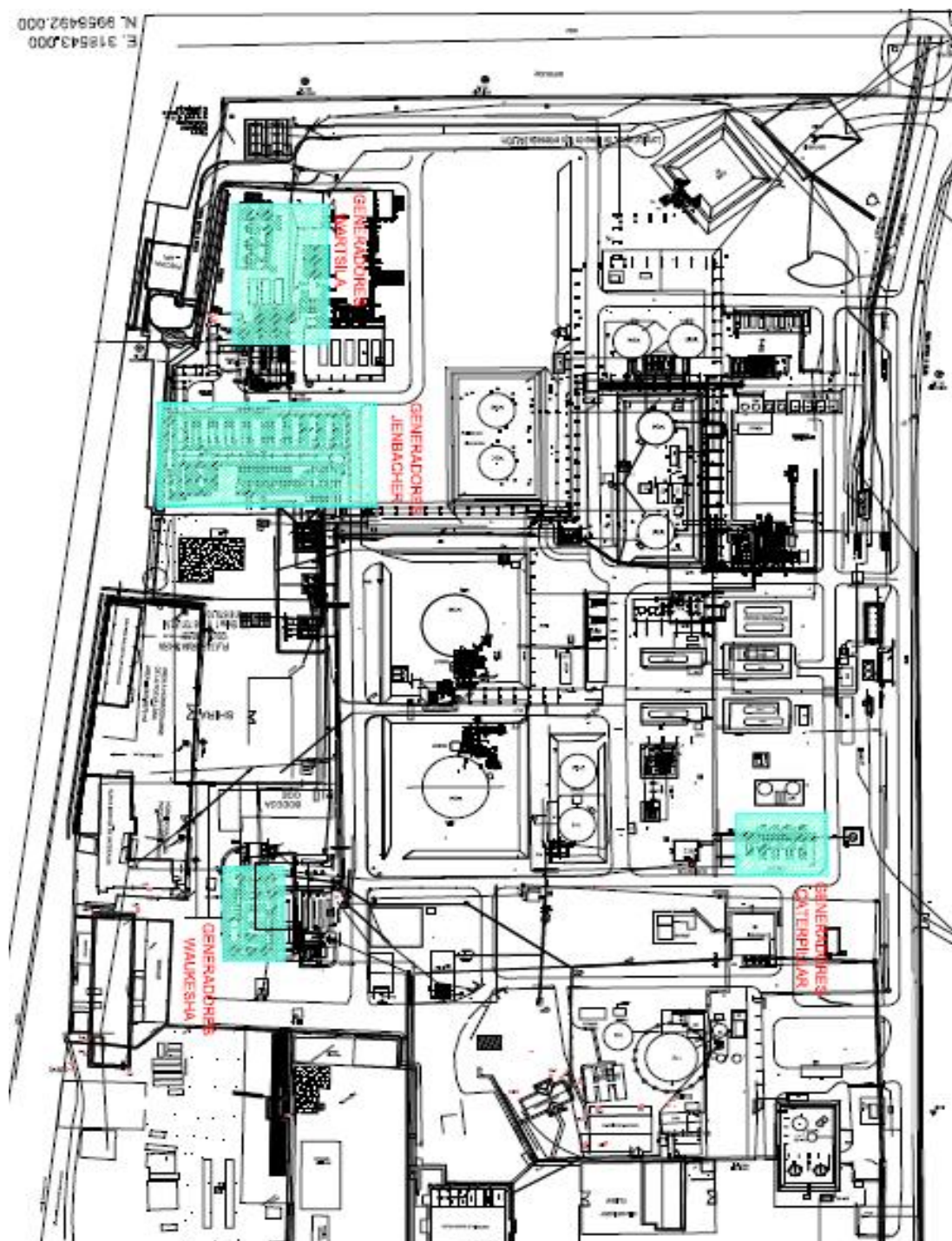
Generador Wartsila 32 versión E			IMO Tier II
Diámetro de pistón	320 mm	Voltaje de Governor	0.4 - 13.8 kV
Carrera de Pistón	400 mm	Eficiencia de Generador	0.95 - 0.97
Potencia por cilindro	560, 580 kW/cil	Especificación de combustible:	Fuel Oil
Velocidad	720, 750 rpm	700 cSt/50°C	7200 sR1/100°C
Presión media específica	29.0, 28.9 bar	ISO 8217, categoría ISO-F-RMK 700	
Velocidad del pistón	9.6, 10.0 m/s	SFOC 174 g/kWh at ISO condición	

Rated power				
-	60 Hz		50 Hz	
Tipo de Motor	560 kW/cil., 720 rpm		580 kW/cil., 750rpm	
	Motor. kW	Gen. kW	Motor. kW	Gen. kW
16V32	8960	8600	9280	8910

Fuente. <http://www.wartsila.com/en/power-plants/learning-center/overview/reciprocating-engine-vs-gas-turbine-fuel-flexibility>

ANEXO E

Figura E1 Levantamiento de Facilidades del CPF



Fuente. Petroamazonas EP

ANEXO F

Tabla F1 Creación de Grupo de Implementación

FORMATO E			
REGISTRO DE ASISTENCIA			
(REUNIONES, CHARLAS, CAPACITACIONES O PRÁCTICAS DE ENTRENAMIENTO)			
AREA:	PERSONAL DE:	REALIZADO EN:	
<input type="checkbox"/> Salud Ocupacional <input checked="" type="checkbox"/> Seguridad Industrial <input type="checkbox"/> Ambiente <input type="checkbox"/> Otro _____	<input checked="" type="checkbox"/> Petroamazonas Departamento: <u>MNTD / OPR.</u> <input type="checkbox"/> Contratistas/Otros: _____	<input type="checkbox"/> Quito <input checked="" type="checkbox"/> Indillana (Indillana, Limoncocha, Yanaquicha, Paka, SRF, Lago Agrio) <input type="checkbox"/> Edén <input type="checkbox"/> Otro _____	
TEMA: <u>DETERMINACION DE ACTIVOS CRITICOS</u>			
ASPECTOS TRATADOS: <u>ACTIVOS CRITICOS</u> <u>APLICACION RCM</u>			
Duración (horas): <u>1.5</u>		Horas Hombre (duración x asistentes): <u>15 horas</u>	
		Fecha (dd/mm/aaaa): <u>13-08-2015</u>	
NOMBRE Y APELLIDO	FIRMA	CÉDULA DE IDENTIDAD O PASAPORTE	COMPANIA / DEPARTAMENTO
1 <u>Klevis Dantón</u>	<u>[Firma]</u>	<u>050266876-7</u>	<u>PAM-MNT.</u>
2 <u>HENRY Villacís</u>	<u>[Firma]</u>	<u>140924057-2</u>	<u>PAM-OPR</u>
3 <u>DIEGO GUAMANGALLO</u>	<u>[Firma]</u>	<u>030214070-0</u>	<u>PAM-MNT</u>
4 <u>Ezequiel Quintero</u>	<u>[Firma]</u>	<u>0801688250</u>	<u>PAM-SSR</u>
5 <u>NELSON CAJEDO</u>	<u>[Firma]</u>	<u>170427526</u>	<u>PAM-OPR</u>
6 <u>EDWIN ALBÁN</u>	<u>[Firma]</u>	<u>0506810484</u>	<u>PAM-MNT.</u>
7 <u>Guido Baizaluisa</u>	<u>[Firma]</u>	<u>1713279816</u>	<u>PAM-MNT</u>
8 <u>DAVID PARRA</u>	<u>[Firma]</u>	<u>050684657</u>	<u>PAM-MNT.</u>
9 <u>IVAN BENITEZ</u>	<u>[Firma]</u>	<u>060913248-2</u>	<u>PAM-MNT.</u>
10 <u>Pablo Capelo</u>	<u>[Firma]</u>	<u>1715249819</u>	<u>PAM-MNT.</u>
11 <u>Jorge Erazo D.</u>	<u>[Firma]</u>	<u>0425454563</u>	<u>PAM-MNT</u>
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
INSTRUCTOR		REPRESENTANTE DEPARTAMENTAL	
Nombre: <u>IVAN BENITEZ</u>		Nombre: <u>Franjano Olvera</u>	
Firma: <u>[Firma]</u>		Firma: <u>[Firma]</u>	

ANEXO G

Tabla G1 Planes de mantenimiento: Generación Caterpillar

RECOMENDACIÓN DE FABRICANTE		
Frecuencia	Elemento	Tarea
Diaria	Motor de Arranque Neumático (Si aplica)	Chequear
	Tanque de aire (Si aplica)	Drenar Humedad y sedimentos
	Nivel de refrigerante	Chequear
	Indicador de Servicio de filtros de aire	Inspeccionar
	Precleaner	Limpiar
	Presión diferencial de filtro de aceite	Chequear
	Nivel de aceite	Chequear
	Presión diferencial de filtro de combustible	Chequear
	Tanque de combustible	Drenar Humedad y sedimentos
	Panel de Instrumentos	Inspeccionar
	Inspección General	
Semanal	Nivel de electrolito de baterías	Chequear
Primeras 250 horas*	Juego de válvulas del motor	Inspeccionar/Ajustar
	Inyector de combustible	Inspeccionar/Ajustar
	Pickups magnéticos	Limpiar/Inspeccionar
250 horas	Nivel de electrolito de baterías	Chequear
	Bandas	Inspeccionar/Ajustar/Reemplazar
	Muestra de Refrigerante (Tipo 1)	Obtener
	Aditivo de Refrigerante	Test/Añadir
	Muestra de Aceite	Obtener

	Aceite y Filtro	Cambiar
	Chumacera de Ventilador	Lubricar
	Mangueras y Abrazaderas	Inspeccionar/Reemplazar
	Radiador	Limpiar
500 horas	Cierre de aire	Test
	Aceite y Filtro	Reemplazar
1.000 horas	Motor	Limpiar
	Respiradero de cárter	Limpiar
	Dispositivos de Protección	Chequear
	Filtro secundario de combustible	Reemplazar
2.000 horas	Brazo de Actuador	Lubricar
	Lubricador de sistema neumático (Si aplica)	Limpiar
	Damper de vibración de cigüeñal	Inspeccionar
	Soportes del motor	Chequear
Anual	Muestra de Refrigerante (Tipo 2)	Obtener
	Muestra de Aceite	Obtener
	Juego de válvulas del motor	Inspeccionar/Ajustar
Cada 3 años	Turbo cargador	Inspeccionar
Cada 3.000 horas o 3 años	Refrigerante	Cambiar
Cada 4.000 horas	Bomba de agua auxiliar	Inspeccionar
	Juego de válvulas del motor	Inspeccionar/Ajustar
	Inyector de combustible	Inspeccionar/Ajustar
Cada 6.000 horas o 3 años	Cooling System Coolant Extender (ELC)	Añadir
Cada 6.000 horas o 6 años	Alternador	Inspeccionar
	Regulador de temperatura de Refrigerante	Reemplazar

	Pickups magnéticos	Limpiar/Inspeccionar
	Motor de arranque	Inspeccionar
	Turbo cargador	Inspeccionar
	Bomba de agua	Inspeccionar
Cada 12.000 horas o 6 años	Cooling System Coolant	Cambiar
	Extender (ELC)	
Según Condición	Baterías	Reemplazo
	Filtros de Aire	Limpieza/Reemplazo
	Sistema de Combustible	primer
	Intercambiador de calor	Inspección

*Primeras 250 horas o en primer cambio de aceite

PLANES DE MANTENIMIENTO PAM		
Frecuencia	Elemento	Tarea
Diaria	Presión de Alimentación de combustible	Chequear
	Presión de aceite	Chequear
	Temperatura de agua	Chequear
	Temperatura de aceite	Chequear
	Temperatura de turbo	Chequear
	Estado de Bandas	Chequear
	Estado de Filtros Separadores	Chequear
	Nivel de Aceite	Chequear/Llenar
	Nivel de Refrigerante	Chequear/Llenar
	Baterías	Medir voltaje
500 horas	Muestra de Aceite (x2)	Obtener
	Motor	Inspección general
	Aceite y filtros	Cambiar
	Filtros de Combustible	Cambiar
	Radiador	Limpiar
	Tensión de Bandas	Chequear
	Batería: Nivel de Electrolito	Chequear/Llenar
	Nivel de Refrigerante	Chequear/Llenar

	Guardas	Inspeccionar
	Respiraderos del Carter	Chequear/Limpiar
	Switch: Baja presión de aceite	Chequear/Calibrar
	Switch: Alta temperatura de aceite	Chequear/Calibrar
	Switch: Alta temperatura de agua	Chequear/Calibrar
	Switch: Alta temperatura de aire en entrada	Chequear/Calibrar
	Swich: Nivel de Agua	Chequear
	Panel de Control	Limpieza
	Manómetros	Chequear/Calibrar
	Chumaceras	Lubricar
4.000 horas	Juego de válvulas	Calibración
20.000 horas	Top Overhaul	
40.000 horas	Major Overhaul	

Fuente. Sistema máximo Petroamazonas EP
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

COMPARACIÓN:

- La rutina de inspección diaria se basa en 5 tareas básicas que corresponden a las recomendadas por el fabricante para el caso de los equipos de PAM.
- El plan de mantenimiento recomendado por el fabricante a las 250 horas, con excepción de las tareas respecto al refrigerante, se han establecido bajo condición para las 500 horas.
- El plan de 500 horas según fabricante se realizan por PAM a las 500 horas. Respecto al test de cierre de aire, no se realiza debido a que este mecanismo de que bloqueo se encuentra deshabilitado.
- El plan de 1000 horas se realiza por PAM a las 500 horas
- Las tareas restantes, se realizan bajo condición

ANEXO H

Tabla H1 Planes de Mantenimiento: Generación Waukesha

RECOMENDACIÓN DE FABRICANTE		
Frecuencia	Elemento	Tarea
Diario	Filtro de Aire	Chequear/Limpiar o Reemplazar
	Lubricador de motor de arranque neumático	Chequear/Llenar
	Varilla de control de actuador	Limpiar/Lubricar
	Nivel de Refrigerante	Chequear/Llenar
	Nivel de aceite de Carter	Chequear/Llenar
	Nivel de aceite de governor	Chequear/Llenar
	Filtro de aceite	Purgar
	Precleaner de filtro de aire	Chequear/Limpiar o Reemplazar
	Reservorio pre lubricación	Chequear/Llenar
	Power Take—off Toma de fuerza	Lubricar
	Análisis de agua de refrigeración	Chequear
720 horas	Electrolito de Batería	Chequear/Llenar
	Tensión de bandas	Chequear
	Actuador de aire	Lubricar
	Bomba auxiliar de agua	Inspeccionar/Lubricar
	Manzana de ventilador y chumacera	Lubricar
	Rodamientos de motor	Lubricar
	Análisis de aceite	Análisis
1.500 horas	Aceite y filtro	Change Oil and Filter
2.000 horas	Rodamientos de bomba de agua	Lubricar
	Respiradero de Carter	Limpiar/Lubricar
	Cables de Ignición: Primarios y secundarios	Inspeccionar
	Presión del cárter	Chequear
	Ajuste sistema de combustible	Ajustar
	Controles de seguridad/ Dispositivos de protección	Test/Calibrar
	Juego de Válvulas	Ajustar

	Valve Cover Gasket	Reemplazar
4.000 horas	Tiempo de Ignición	Chequear
	Magnetic Plugs	Limpiar
	Pre cámara reguladora	Ajustar
	Sello de filtro de aceite	Reemplazar
	Wastegate Vent Plug	Inspeccionar/Limpiar
	Bujías (2,500 -- 4,000 horas o según condición)	Reemplazar
	Strainer de lubricación	Limpiar
	Conjunto de válvula de admisión**	Limpiar o Reemplazar
	Admission Valve Washer**	Reemplazar
	Admission Valve O—ring**	Reemplazar
	Compresión de cilindro	Chequear
	Rodamientos de motor de arranque	Lubricar
	Governor-Sincronizador de rodamientos de motor	Lubricar
	Filtro regulador de combustible	Limpiar/Reemplazar
	Válvulas de Aire/Combustible de carburador	Limpiar/Reemplazar
	Diafragma de carburador	Inspeccionar
	Disco de magneto	Reemplazar
	Análisis de agua de enfriamiento	Chequear
8.000 horas	Bomba de agua	Inspeccionar
	Turbo cargador	Limpiar/Inspeccionar
	Main and Rod Bearings	Inspeccionar
	Sistema de refrigeración	Limpiar y lavar
	Termostatos de sistemas de refrigeración	Retirar y probar
	Árbol de Levas Pantalla de presión de cárter	Limpiar
	Alineación y soportes de motor	Chequear
	Exhaust Back Pressure Presión de escape	Chequear
	Válvula de alivio de filtro de aceite	Inspeccionar
	Cables de alta tensión	Reemplazar
	Terminales primarios de ignición, conectores de harness	Inspeccionar
	Módulo de sincronización de magnetos de discos magnéticos	Limpiar/Inspeccionar

	Mangueras de lubricación y agua	Reemplazar
	Oil Pan sumidero de aceite	Limpiar
	Amortiguador de vibraciones de tornillos de cabeza	Retorque
	Hydraulic Governor Oil (or as necessary)	Cambiar
	Intercooler	Limpiar/Inspeccionar
	Empaques de carburador	Reemplazar
	Válvula de aire/gas de carburador	Reemplazar
	Bandas	Reemplazar
	Válvula de alivio del cárter	Inspeccionar
	Bobina de Ignición	Inspeccionar
	Extensiones de Bujías	Reemplazar
	Magneto de Ignición	Rebuild
	Wastegate	Rebuild
	Módulo de Ignición	Inspeccionar
	Módulo de Aire/Combustible	Inspect Harness Connections And Ground Wire
	Rubber Dampers In Governor Drive Gear Engrane del damper de Governor	Inspeccionar/Reemplazar
	Soportes de Harness de motor	Inspeccionar
Según Condición	Oil Cooler (Oil Side) (Maintain with appropriate oil drainage Interval)	Drenar
	Microspin (Maintain with appropriate oil drainage Interval)	Limpiar

PLANES DE MANTENIMIENTO PAM	
Frecuencia	Elemento
Diario	Temperatura de aceite
	Presión de aceite
	Presión de Manifold
	Temperatura de refrigerante
	Temperatura de cilindros y escapes

	Temperatura de Manifold Admisión
800 horas	Tensión de Bandas
	Varilla del actuador
	Panel de control/interconexión del generador
	Varistores del generador eléctrico
	Excitatriz
	Regulador de Voltaje
	Radiador
	Aero enfriador
	Fugas de aceite
	Manómetros
	Pickups Magnéticos
	Nivel de Refrigerante
	Guardas
	Filtros Coalescentes
	Motor
	Rodamientos
	Rodamientos
	Muestra de Aceite
	Aceite
	Filtros de aceite y aire
	Respiraderos del cárter
	Cable de fuerza estator principal
	Cables de Panel de control
	Cables de breaker principal
	Dispositivos de protección
	Switch: Baja presión aceite
	Switch: Nivel de Agua
	Switch: Nivel de Aceite
	Presión diferencial de Filtros Coalescentes
	Switch: alta temperatura de aceite
	Juego de válvulas

4.000 horas	Diodos
8.000 horas	Repetir tareas
20.000 horas	Top Overhaul
40.000 horas	Major Overhaul

Fuente. Sistema máximo Petroamazonas EP
Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

COMPARACIÓN:

- Dentro del Mantenimiento realizado por PAM a las 800 horas, abarcan las recomendaciones del fabricante hasta las 2000 horas.

ANEXO I

Tabla I1 Planes de Mantenimiento: Generación Jenbacher

RECOMENDACIÓN DE FABRICANTE		
Frecuencia	Elemento	Descripción
Diaria	Inspección general	Inspeccionar
	Registro de parámetros	
	Filtro contenerizado del aire de aspiración	Si la presión negativa sobrepasa los 400 Pa (4 mbar) deben renovarse las esterillas filtrantes.
	Filtro de admisión de aire - motor	Si el manómetro de bolsillo muestra una depresión mayor de >10 mbar (1000 Pa) es necesario entonces limpiar los filtros.
Semanal < 250 horas	Control de la tensión de encendido/bujías	Como indicador efectivo del estado de las bujías, es necesario realizar un control semanal de la tensión de las mismas.
Primeras 150 horas	Aceite lubricante	Para decidir si es necesario el cambio de aceite, los análisis de aceite dan las indicaciones necesarias.
Mensual	Batería	Compruebe el nivel de ácido. Compruebe que los terminales de la batería estén bien apretados.
	Filtro de aire del armario eléctrico	Revisar el filtro y en caso necesario limpiarlo o cambiarlo
Anual	Equipo refrigerador del armario de distribución	Compruebe la presencia de suciedad. Límpielo si hubiera lugar a ello con aire comprimido seco
	Instalación de alarma de gas y humo	Revisar (tenga en cuenta la normativa oficial)
	Agua de refrigeración	Comprobación de la concentración
30.000*	Agua de refrigeración	Cambio del agua de refrigeración
Cada dos años	Batería en DIANE	Sustituir
Cada cinco años	Batería buffer en el aparato cargador de baterías	Sustituir

* horas de funcionamiento después de la terminación de los trabajos de revisión

Tarea	Descripción
Mantenimiento tras la primera puesta en servicio	Mantenimiento
Juego de la válvulas	Chequear/Ajustar
Encendido	Chequear
Refrigerador de mesa	Chequear
Aireación del cárter	Chequear
Varillaje/Clapeta de reguladora/Actuador	Chequear/Lubricar
Rampa de regulación de gas	Chequear
Turbocompresor	Chequeo/Cambiar
Inspección	Inspección
Bomba agua de camisas	Chequear
Arrancador	Chequear
Mezclador de gas	Chequear
Bypass de la mezcla	Reemplazar
Amortiguador	Reemplazar
Armario eléctrico GE Jenbacher	Chequear
Pistones/Refrigeración de los pistones	Desmontar/Inspeccionar/Rectificar
Bielas y cojinetes de biela	Armar/Montar/Ajustar
Camisa de cilindro/rascador	
Rodamiento principal del cigüeñal	
Árbol de levas/Piezas de control (Si se desmonta la culata)	
Bomba de aceite	
Bomba de Pre lubricación	
Revisión	
Colector de gases de escape/Aislamiento (Si se desmonta la culata)	
Sustitución de la culata	
Generador	
Piezas de elastómero	

PLANES DE MANTENIMIENTO PAM		
Frecuencia	Elemento	Tarea
Diario	Temperatura de Cilindros	Chequear
	Temperatura agua del motor	Chequear
	Presión del agua del motor	Chequear
	Presión del refrigerante - Sist. Intercooler	Chequear
	Temperatura de aceite	Chequear
	Presión de aceite	Chequear
	Temp. de la mezcla aire/gas	Chequear
	Presión de carga	Chequear
	Presión tren de gas	Chequear
	Posición del mezclador de gas	Chequear
	Posición de la Throttle valve	Chequear
	Posición del Bypass del Turbo	Chequear
	Horas de operación unidad	Chequear
	Numero de arranques	Chequear
	Temperatura gases de escape	Chequear
	Presión gas entrada unidad	Chequear
	Presión de línea principal de gas	Chequear
	Presión diferencial filtro entrada de aire	Chequear
	Temp. Retorno refrigerador agua de camisas	Chequear
	Temperatura del cuarto de máquina	Chequear
2.000 horas	Pre filtros de aire	Cambiar
	Cables y socket bujías	Limpiar
	Gabinete eléctrico	Limpiar
	Pares de Atornilla miento del moto generador	Ajustar
	Filtro de entrada a gas	Inspección/Cambio
	Bobina de Ignición (Terminales)	Reajustar
	Varillaje y válvula de estrangulación	Engrasar
	Bornes de tarjeta de encendido	Ajustar
	Bujías	Calibrar
	Filtro de niebla de aceite	Cambiar

	Juego de válvulas	Medición/Calibrar
	Pickup Magnético	Limpiar
	Radiador	Limpiar
	Filtro Venteo Carter	Chequear
	Varilla de actuador (rótula)	Lubricar
	Nivel de ácido de baterías	Chequear/Llenar
	Pre filtros de aceite	Chequear
	Filtro de Aceite	Cambiar
4.000 horas	Generador, varistores, diodos y cableados	Inspección/Limpieza
8.000 horas	Aceite Lubricante	Cambiar
10.000 horas	Piezas de Elastómeros	Sustitución
	Intercambiador de calor (aire/agua)	Inspección
	Bomba de agua	Mantenimiento
	Motor de arranque	Inspección
	Turbocompresor	Mantenimiento
	Control de mezclador de gas/cambio del motor a pasos	Revisar/Inspeccionar
20.000 horas	Válvula de Bypass (Mezcla)	Sustituir
	Amortiguador (Damper Cigüeñal)	Cambiar
	Armario de Control Eléctrico	Mantenimiento
	Aceite Lubricante	Cambiar
	Retenedor de Cigüeñal (lado libre)	Reemplazar
	Válvulas	Verificar/Calibrar
	Bomba de agua	Reemplazo
	Refrigerante	Analizar/Sustituir
	Tarjeta de gas mixer	Reemplazar
30.000 horas	Múltiples de escape	Desmontar/Inspeccionar
	Múltiples de refrigeración	Desmontar/Inspeccionar
	Sistema de Ignición	Desmontar/Inspeccionar
	Múltiples de admisión	Desmontar/Inspeccionar
	Líneas de refrigeración	Drenar/Desmontar/Inspeccionar
	Gas mixer/tren de gas	Desmontar/Inspeccionar
	Campana de admisión de aire	Desmontar/Inspeccionar

	Motor y bomba de enfriamiento de la mezcla	Desmontar/Inspeccionar
	Motor de arranque.	Desmontar/Inspeccionar
	Turbo cargador	Desmontar/Inspeccionar/Reparar
	Líneas de lubricación	Desmontar/Inspeccionar
	Tapas de inspección de árbol de levas y propulsores	Desmontar/Inspeccionar
	Tapa válvulas, balancines, culatas, bielas, pistones, camisas y suplementos	Desmontar/Inspeccionar/Limpiar
	Block (Exterior e interior)	Limpiar
	Intercooler	Desmontar/Inspeccionar/Limpiar
	Pistones, bulones y brazos de biela	Desmontar/Inspeccionar/Rectificar
	Generador	Desconectar/Desmontar
	Carter	Desmontar/Inspeccionar/Limpiar
	Bomba de Lubricación	Desmontar/Inspeccionar/Ajuste
	Cigüeñal	Limpieza
	Filtro de insonorización lateral	Desmontar/Inspeccionar
	Skid de Generador	Limpieza
	Volante de motor	Desmontar
	Rodamientos de cigüeñal	Reemplazar
	Volante de motor	Montar/Ajustar
	Damper	Montar/Ajustar
	Carter-Motor	Acoplar
	Suplementos	Montar/Ajustar
	Camisas	Montar/Ajustar
	Motor-Skid	Montar/Ajustar
	Intercooler	Montar/Ajustar
	Intercambiador de calor agua-aceite	Montar
	Línea de compensadores	Montar
	Distribuidor de gases de escape	Montar
	Inyectores de lubricación al pistón	Ajustar
	Bielas, pistones	Armar/Montar/Ajustar
	Motor-Generador	Montar/Alinear
	Culatas	Montar/Ajustar

	Seguidores de leva, propulsores y tapas superiores del block	Montar/Ajustar
	Múltiples de admisión de mezcla	Montar/Ajustar
	Distribuidor de bobinas	Montar/Ajustar
	Múltiples de la línea de refrigeración de agua de camisas	Montar/Ajustar
	Válvula Check	Montar
	Múltiples de escape y las protecciones térmicas	Montar
	Válvulas	Calibrar/Ajustar
	Actuador de la válvula clapeta	Montar
	Turbo cargador/ Tuberías de lubricación y refrigerante.	Montar
	Colector de gases de escape	Montar
	Bomba de intercooler	Montar
	Bujías	Montar/Conectar
	Conexiones de Refrigerante	Verificar/Ajustar
	Pruebas de Arranque	Test
	Funcionamiento en Vacío	Test
	Funcionamiento con Carga	Test
	Vibraciones	Monitorear

Fuente. Sistema máximo Petroamazonas EP

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

COMPARACIÓN:

- El mantenimiento realizado a las 2000 horas recomendado por el fabricante, se realizan todas las tareas en el mantenimiento de 2000 por parte de PAM
- El mantenimiento realizado a las 10000 horas se realizan todas las actividades recomendadas
- El mantenimiento realizado a las 20000 horas se realizan todas las actividades recomendadas

ANEXO J

Tabla J1 Planes de Mantenimiento: Generación Wartsila

Frecuencia	Elemento	Tarea
Cada dos días *	Pre lubricación automática	Comprobar el funcionamiento
	Cigüeñal	Motor marino: Con el motor parado, girar el cigüeñal a una nueva posición.
Una vez por semana*	Proceso de arranque	Arranque de prueba (si el motor está posición de reposo)
50 horas	Enfriadores de aire	Comprobar el drenaje de los enfriadores de aire
	Sistema de agua de refrigeración	Comprobar el nivel del agua en el sistema de refrigeración
	Biela	Comprobar el apriete de los pernos de sujeción de la biela
	Filtros de combustible y aceite lubricante	Comprobar los indicadores de caída de presión
	Manómetros e indicadores	Tomar lecturas
	Regulador, servomotor	Comprobar el nivel de aceite en el regulador
	Sistema de inyección y combustible	Comprobar la cantidad de combustible de fuga
	Cárter de aceite lubricante	Comprobar el nivel de aceite en el cárter
	Cojinetes principales	Comprobar el apriete de los pernos de los cojinetes principales
	Turbocompresor	Limpiar el compresor con agua
	Turbocompresor	Comprobar el nivel de aceite del turbocompresor
	Turbocompresor tipo VTR Mecanismo de accionamiento de válvulas	Comprobar la holgura de las válvulas
100 horas	Turbocompresor	Limpieza con agua de la turbina
500 horas	Filtro centrífugo	Limpiar filtro(s) centrífugo(s)
	Mecanismo de control	Mantenimiento del mecanismo de control
	Agua de refrigeración	Comprobar la calidad del agua
	Presión de cilindro	Comprobar la presión de cilindro
	Aceite lubricante	Tomar una muestra de aceite
	Turbocompresor	Cambiar el aceite lubricante en el turbocompresor (s)

	Turbo compresor tipo VTR	
1.000 horas	Filtro de aire (incorporado)	Limpiar el filtro de aire del turbocompresor
	Automatismos	Comprobar el funcionamiento de los automatismos
	Bomba eléctrica de alimentación de combustible	Engrasar de nuevo la bomba eléctrica de alimentación de combustible
	Bomba eléctrica de aceite lubricante	Engrasar de nuevo la bomba de Pre lubricación
	Acoplamiento flexible Geislinger (aceite llenado)	Cambio de aceite/control del acoplamiento
	Filtro de combustible	Cambiar los cartuchos del filtro de gasóleo
	Filtro de aceite lubricante	Sustituir los cartuchos del filtro por otros nuevos
	Válvulas	Comprobar el estado de las válvulas
2.000 horas	Enfriador(es) de aire	Comprobar el lado de agua en el/los enfriador(es) de aire
	Válvulas de inyección	Inspeccionar las válvulas de inyección
	Aceite lubricante	Cambiar el aceite lubricante
	Instrumentos de medida	Comprobar instrumentos de medida
	Regulador	Cambiar el aceite del regulador
	Dispositivo mecánico de sobre velocidad	Comprobar el funcionamiento del dispositivo mecánico de sobre velocidad
	Dispositivo electroneumático de sobrevelocidad	Comprobar el dispositivo electroneumático de sobrevelocidad
4.000 horas	Enfriador(es) de aire	Limpiar el/los enfriador(es) de aire de carga
	Automatismos	Inspeccionar los conectores y cables.
	Árbol de levas	Inspeccionar las superficies de contacto del árbol de levas
	Espacios del agua de refrigeración	Inspeccione los espacios para el agua en la camisa en el motor con el turbocompresor enfriado
	Espacios del agua de refrigeración	Inspeccionar los espacios para el agua en la camisa en el motor con el turbocompresor no enfriado
	Mecanismo de control	Comprobar el mecanismo de control
	Cigüeñal	Comprobar la alineación del cigüeñal.
	Cigüeñal	Comprobar la holgura del cojinete de empuje

	Colector de escape	Comprobar si hay escapes
	Acoplamiento flexible	Cambio de aceite del acoplamiento
	Geislinger (aceite llenado)	
	Sistema de combustible	Comprobar y ajustar el sistema de combustible
	Válvulas de inyección	Inspeccionar las válvulas de inyección
	Enfriadores de aceite	Limpiar el enfriador de aceite
	Puesta en marcha del limitador de combustible	Comprobar el limitador de combustible
12.000 horas	Accionamiento del eje de equilibrado 4R32	Inspeccionar el accionamiento del eje de equilibrado
	Engranaje impulsor del regulador	Inspeccionar el engranaje impulsor del regulador
	Acoplamiento flexible	Comprobar el acoplamiento flexible
	Acoplamiento flexible de goma	
	Bomba de agua de AT	Inspeccionar la bomba de agua de AT
	Engranaje impulsor de la bomba de agua de AT	Inspección. engranaje impulsor de bomba de agua de AT
	Válvula termostática del agua de AT	Limpiar e inspección. válvula termostática del agua de AT
	Bomba de agua de BT	Inspeccionar la bomba de agua de BT
	Engranaje impulsor de la bomba de agua de BT	Inspeccionar la bomba de agua de BT
	Válvula termostática de agua de BT	Limpiar e inspección. válvula termostática de agua de BT
	Bomba de aceite	Inspeccionar la bomba de aceite lubricante
	Engranaje impulsor de la bomba de aceite lubricante	Inspeccionar el engranaje impulsor de la bomba aceite
	Válvula termostática. de aceite	Limpiar e inspeccionar la válvula termostática
	Turbocompresor	Cambiar los cojinetes del turbocompresor
	Turbocompresor tipo VTR	
	Turbocompresor	Inspeccionar los cojinetes del turbocompresor
	Cargadores “Napier Na”	
	Turbocompresor	Inspeccionar los cojinetes del turbocompresor
	Cargadores ABB TPL	
12.000 horas (Según combustible)	Bielas	Cambiar el cojinete de cabeza de la biela
	Bielas	Cambio de los tornillos de las bielas

	Bielas	Cambio de los tornillos de las biela
	Bielas	Cambio de los espaciadores de las bielas
	Bielas	Inspeccionar los cojinetes del pie de biela
	Culatas	Revisión de culatas
	Camisas	Inspeccionar las camisas
	Camisas	Inspeccionar el lado de agua de las camisas
	Pistones	Inspeccionar pistones
	Pistón, segmentos de pistón	Inspeccionar pistones y aros de pistón
	Válvulas de arranque	Comprobar válvulas de arranque
Cada 16.000 horas de funcionamiento	Engranaje impulsor del árbol de levas	Inspeccionar engranajes intermedios
	Acoplamiento elástico	Comprobar el acoplamiento elástico
	(Aceite llenado)	
	Bomba de alimentación de combustible	Revisión general de la bomba de alimentación de combustible
	Accionamiento del regulador	Comprobar el cojinete del accionamiento del regulador
	Regulador	Revisión general del regulador
	Servomotor reforzador para el regulador	Revisión general del servomotor reforzador
	Virador	Cambiar aceite en el virador
	Amortiguador de vibraciones Tipo viscoso	Tomar una muestra de aceite del amortiguador de vibraciones
	Amortiguador de vibraciones	Comprobar el amortiguador de vibraciones
	Geislinger	Desmontar y comprobar el amortiguador de vibraciones cada 32.000 horas.
16.000 horas (Según combustible)	Árbol de levas	Inspeccionar los cojinetes del árbol de levas
	Mecanismo de accionamiento de válvulas	Comprobar las piezas del mecanismo de accionamiento de válvulas
	Cigüeñal	Inspeccionar los cojinetes principales
	Gato hidráulico para los sombreretes del cojinete principal	Comprobar funcionamiento
	Bombas de inyección	Revisión de las bombas de inyección
24.000 horas	Eje de equilibrado 4R32	Inspeccionar el eje de equilibrado

	Pernos de fijación del motor	Comprobar el apriete de los pernos de fijación
	Colector de escape	Comprobar compensadores de expansión
	Acoplamiento elástico	Comprobar el acoplamiento elástico
	(Suministro de aceite del motor)	
	Válvula de arranque principal	Revisión general de la válvula de arranque principal
	Dispositivo mecánico de desconexión de sobrevelocidad	Revisión general del sistema mecánico de parada por sobrevelocidad
	Distribuidor del aire de arranque	Revisión general del distribuidor de aire de arranque
	Turbocompresor	Inspeccionar los cojinetes del turbocompresor
	Cargadores ABB TPL	
48.000 horas	Accionamiento del eje de equilibrado 4R32	Cambiar los casquillos de cojinetes
	Engranaje impulsor del árbol de levas	Sustituir cojinetes de engranajes intermedios
	Cigüeñal	Inspeccionar cigüeñal
	Bancada del motor (Montaje flexible)	Comprobar los elementos flexibles de la bancada
	Acoplamiento flexible	Comprobar el acoplamiento flexible
	Turbocompresor	Cambiar el rotor

***independientemente de que el motor esté o no en funcionamiento**

Frecuencia	Elemento	Tarea
Diario	Motor: Nivel de Aceite	Chequear/Llenar
	Alternador: Nivel de Aceite	Chequear/Llenar
	Governor: Nivel de Aceite	Chequear/Llenar
	Temperatura/Viscosidad de Combustible	Revisar
	Presión de Agua	Revisar
	Presión de Aceite	Revisar
	Presión de Combustible (Alimentador)	Revisar
	Presión de Combustible (Transferencia)	Revisar
	Presión diferencial de filtro de combustible	Revisar
	Presión de entrada de combustible	Revisar
	Presión motor de arranque neumático	Revisar
	Presión de Aire de Instrumentación	Revisar

	Nivel de tanque de Expansión	Chequear/Llenar
	Nivel de tanque de Agua	Chequear/Llenar
	Nivel de tanque Buffer	Chequear/Llenar
	Nivel de tanque diario	Chequear/Llenar
	Nivel de tanque LFO	Chequear/Llenar
	FUEL RACK	Chequear/Llenar
500 horas	Mecanismo de Control	Mantenimiento
	Muestra de Agua: Análisis	Obtener
	Muestra de Aceite: Análisis	Obtener
	Presiones de Cilindro	Monitorear
	Filtro Centrifugo	Limpiar
	Cajas calientes	Limpiar
	Alternador: Filtros de aire	Limpiar
	Motor: Guardas	Limpiar
	Aire Acondicionado	Inspeccionar/Limpiar
1.000 horas	Filtros de Combustible: Cartuchos	Reemplazar
	Turbocompresor: Filtros de aire	Chequear/Limpiar
	Válvulas de Admisión y Descarga	Chequear
	Accionamiento de parada de emergencia de panel local	Simular
	Accionar switch paro de emergencia de panel	Simular
	Transmisor de baja presión de aceite	Test
	Transmisor de alta temperatura de salida de agua	Test
	Switchs de nivel de combustible	Test
	Sensor de Alta velocidad	Test
	Alto nivel de fugas en retorno a banco a y b	Simular
	Alarma alto nivel de liqueos sucios	Chequear
	Señal de virador enganchado	Chequear
	Señal de posición stop lever	Simular
	Alarma de paro de extracción de Gases	Simular

	Alarma de funcionamiento de oil mist	Simular
2.000 horas	Enfriadores de aire (Lado Agua)	Chequear
	Inyectores	Chequear/Limpiar/Cambiar Toberas
	Aceite (Governor)	Cambiar
	Instrumentación (Manómetros/Termómetros)	Chequear/Reemplazar
	Transmisor de baja presión de aire de arranque	Test
	Calentador de anti condensados	Test
	Alarma de alta presión diferencial de aceite lubricante	Test
	Transmisor de Alta Presión de	Test
4.000 horas	Áreas de contacto del eje de camones y los roletes	Inspeccionar
	Cámaras de agua de enfriamiento	Inspección
	Mecanismo de Control y bombas de inyección	Chequear
	Múltiples de escape	Inspeccionar fugas
	Sistema de combustible	Chequear/Ajustar
	Limitador de combustible de arranque	Chequear
	Carcaza	Inspección
	Aceite de cojinetes	Cambiar
	Transistor de baja presión de aceite (Shutdown)	Simular
	Switch de baja presión de aceite (Shutdown)	Simular
	Switch de alta temperatura de salida del agua (Shutdown)	Simular
	Switch de alto nivel de fugas combustible (Caja Caliente)	Simular
	Sensor de sobrevelocidad	Simular
	Switch bajo nivel calentador agua	Test
	Transmisor de presión de aire de carga	Test
	Cables, y conectores	Revisar
	Mounting de paneles	Revisar

Fuente. Sistema máximo Petroamazonas EP

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

ANEXO K

Distribución de energía en CPF Bloque 15:

A continuación se esboza la carga de consumo requerida para la operación normal en el Bloque 15.

Tabla K1. Estimación distribución de Cargas en la demanda de CPF

Cargas	Potencia [kW]
Pozos	10.500
Planta de Procesos	3.000
Administración	800
Exportación	5.500
Total	19.800

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Análisis de pérdidas de producción

Las operaciones del CPF se encuentran alimentadas por la planta centralizada de generación para alcanzar, al finalizar la interconexión del proyecto, una producción aproximada de 16000 BPD. Esta producción es entregada por 80 pozos productores, que producen en promedio 150 BPD. La pérdida de producción, considerando un precio del barril por \$45, se ha estimado en \$29,063 por cada hora parada.

Tabla K2. Estimación producción asociada a generación centralizada

Islas de producción	Producción [BPD]
Limoncocha	5.000
Paka norte Yanaquincha Pacay	8.500
Santa Elena	500
Itaya	2.000
Total	16.000

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015

Costo por kW con los diferentes combustibles.

El costo de producir con Diesel es el más costoso, el menos costoso es con gas, y la generación a crudo se encuentra entre las 2. Se utiliza la a crudo en mayor escala, debido a su capacidad operativa confiable.

Tabla K3. Costo por kW, con los distintos combustibles

Combustible	Costo por kW (\$)
Diesel	0.2
Jenbacher Gas	0.091
Waukesha	0.149
Wartsila	0.134

Elaborado por: BENITEZ, Iván 2015